

26º Prêmio BNDES de Economia

---

# Dinâmica Industrial e Cumulatividade Tecnológica

**Sérgio Almeida**

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Economia da Indústria e Tecnologia.

**Orientador**

Mario L. Possas

Rio de Janeiro – 2004

CIP - Brasil. Catalogação na fonte  
Sindicato Nacional dos Editores de Livros

A447 Almeida, Sérgio  
Dinâmica industrial e cumulatividade tecnológica / Sérgio Almeida. – Rio de Janeiro : BNDES, 2004.  
144p.; 23cm.

Dissertação (mestrado) – UFRJ – 2003.  
26º Prêmio BNDES de Economia.

ISBN 00-00000-00-0

1. Tecnologia industrial. 2. Capacitação tecnológica. 3. Pesquisa e Desenvolvimento. 4. Indústrias. I. Título.

CDD 338.45

## Apresentação

---

Esta dissertação de mestrado em economia, *Dinâmica Industrial e Cumulatividade Tecnológica*, de Sérgio Almeida, ora editada pelo BNDES, obteve o 1º lugar no 26º Prêmio BNDES de Economia, realizado em 2003.

Seu autor é brasileiro, 26 anos, graduou-se pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e obteve o título de Mestre em Economia pelo Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, tendo como orientador o professor Mario Luiz Possas.

Concorreram ao 26º Prêmio BNDES de Economia 55 trabalhos, inscritos por 21 centros de pós-graduação em economia de universidades brasileiras. A comissão examinadora formada para apreciar as dissertações foi presidida pelo professor Yoshiaki Nakano e composta pelos professores João Sicsú – UFRJ; Gilberto Tadeu Lima – IPE-USP; José Gabriel Porcile Meirelles – UFPR; João Policarpo Rodrigues de Lima – UFPE; João Antônio de Paula – UFMG; Walter Novaes – PUC-RJ; e Wilson Suzigan – Unicamp.

Em 2003, foram premiadas as seguintes dissertações de mestrado:

2º lugar: *Desempenho Comercial das Empresas Estrangeiras do Brasil na Década de 90*, de Fernanda De Negri – Unicamp, orientada por Mariano Francisco Laplane.

3º lugar: *Equações de Rendimento: o Efeito da Posse da Terra*, de Marlon Gomes Ney – Unicamp, orientada por Rodolfo Hoffmann.

4º lugar: *Práticas Diferenciadas de Governança Corporativa: um Estudo sobre a Conduta das Firms Brasileiras*, de Gabriel Srouf – PUC-RJ, orientada por Walter Novaes.

5º lugar: *Crescimento Econômico, Retornos Crescentes de Escala e Difusão Tecnológica – O Caso Brasileiro*, de Francisco Horácio Pereira de Oliveira – UFMG, orientada por Mauro Borges Lemos.

Ao longo de 27 anos de realização do Prêmio BNDES de Economia, foram premiadas 135 dissertações e publicados, pelo BNDES, 40 desses trabalhos, totalizando a edição de cerca de 113 mil exemplares. Registra-se também, com satisfação, a crescente melhoria qualitativa das dissertações de mestrado inscritas.

Para meus pais e para meus avós  
Manoel (*in memoriam*) e Regina Maior.

*Jamais será ultrapassada uma obra de arte verdadeiramente “acabada”, tampouco envelhecerá. Qualquer um dos que a contemplem apreciará, provavelmente de forma diferente, a sua significação, mas jamais poderá alguém dizer de uma obra verdadeiramente “acabada” que ela foi “ultrapassada” por uma outra igualmente “acabada”. Entretanto, no domínio da ciência todos sabem que a obra construída terá envelhecido dentro de dez, vinte ou cinquenta anos. Em verdade, qual o destino ou, melhor, a significação, em sentido muito especial, de que está revestido todo o trabalho científico, assim como, aliás, todos os outros elementos da civilização sujeitos à mesma lei? É o de que toda obra científica “acabada” não tem outro sentido senão o de fazer surgirem novas indagações. Portanto, ela pede que seja “ultrapassada” e envelheça. Todo aquele que pretende servir à ciência deve resignar-se a esse destino.*

(CIÊNCIA E POLÍTICA: DUAS VOCAÇÕES, MAX WEBER.)



# Sumário

---

**Agradecimentos** 13

**Resumo** 15

**Introdução** 17

**1. Referencial teórico** 23

1.1. Dinâmica e desequilíbrio 24

1.2. Racionalidade sob incerteza: o comportamento guiado por rotinas 26

1.3. Busca e seleção 27

**2. Concorrência e mudança tecnológica: modelos evolucionários de dinâmica industrial** 29

2.1 O esquema de modelagem evolucionária: o modelo Nelson-Winter 31

2.1.1. Pressupostos teóricos 31

2.1.2. Módulos de produção, investimento e busca tecnológica 33

2.1.3. Limitações e problemas internos ao modelo Nelson-Winter 36

2.2. Ampliando o escopo do modelo Nelson-Winter e as limitações herdadas 40

2.2.1. Estratégias tecnológicas e conduta adaptativa: o modelo Winter 40

2.2.2. Aprendizado e difusão tecnológica: o modelo Silverberg-Dosi-Orsenigo 41

2.2.2.1. O problema do beneficiamento simétrico e da apropriabilidade dos ganhos de aprendizado 44

2.2.3. Mudança de paradigma tecnológico e dinâmica micromacroeconômica: o modelo Chiaromonte-Dosi 45

2.2.3.1. Inovação incremental e radical: a mudança de paradigma tecnológico 46

2.2.3.2. Limitações e problemas internos ao modelo Chiaromonte-Dosi 48

2.2.4. Demanda efetiva e ajustamento intertemporal de *markup*: o modelo Possas-Koblitz 49

2.2.4.1. Busca tecnológica, expectativas de vendas e financiamento da modernização tecnológica: problemas internos e algumas reformulações 50



<b>3. Um modelo de busca tecnológica com acumulação de conhecimento e capacitações tecnológicas, <i>spillovers</i> assimétricos de P&amp;D e trajetórias tecnológicas endógenas</b>	<b>55</b>
3.1. Introdução	55
3.1.1. Cumulatividade tecnológica	56
3.2. O modelo de busca tecnológica	57
3.2.1. Considerações preliminares	57
3.2.2. Estrutura do modelo: um <i>overview</i>	58
3.2.3. Base de conhecimento e capacitações tecnológicas da firma	60
3.2.4. Conhecimento tácito: a depreciação de natureza cognitiva	63
3.2.5. Conhecimento codificado: a depreciação de natureza tecnológica	65
3.2.5.1. A dinâmica do processo de codificação do conhecimento tecnológico	68
3.2.6. Capacidade de absorção da firma e dualidade do esforço de P&D	71
3.2.7. <i>Spillovers</i> de P&D e a questão da distância tecnológica	73
3.2.7.1. A assimetria dos <i>spillovers</i> intra-industriais	76
3.2.7.2. <i>Spillovers</i> de P&D extra-industriais	78
3.3. Competência tecnológica: introduzindo a cumulatividade tecnológica	79
3.3.1. Primeiro estágio do processo de busca tecnológica: o resultado das estratégias tecnológicas	81
3.3.2. Segundo estágio do processo de busca tecnológica: endogeneizando as trajetórias tecnológicas das firmas	84
3.3.3. O viés do sucesso tecnológico: imitadoras <i>versus</i> inovadoras	86
<b>4. Dinâmica industrial em condições de cumulatividade tecnológica: simulações do modelo PK revisitado</b>	<b>89</b>
4.1. Natureza e objetivo do experimento de simulação	89
4.1.1. Teste e validação dos modelos evolucionários: <i>status</i> metodológico dos exercícios de simulação	90
4.2. Ambiente tecnológico e características estruturais da indústria representada nas simulações	92
4.3. Análise comparativa do modelo PK	94
4.3.1. Regime tecnológico <i>science-based</i>	95
4.3.2. Regime tecnológico <i>hipercumulativo</i>	98
4.4. Limitações da análise	102
<b>Conclusão</b>	<b>105</b>
<b>Apêndice A: Equações do modelo PK</b>	<b>109</b>
<b>Apêndice B: Condições iniciais e valores dos parâmetros</b>	<b>115</b>
<b>Notas</b>	<b>117</b>
<b>Referências bibliográficas</b>	<b>135</b>
<b>Abstract</b>	<b>143</b>

## Índice de figuras

---

### Figuras

- 1 Grau de codificação do estoque de conhecimento e estágio da trajetória tecnológica 70
- 2 Curva de *spillovers* 77
- 3 Simulações no regime *science-based*: produtividade das firmas 95
- 4 Simulações no regime *science-based*: preços praticados pelas firmas 96
- 5 Simulações no regime *science-based*: *market share* 97
- 6 Simulações no regime *science-based*: índice de Hirschman-Herfindahl invertido 97
- 7 Simulações no regime hipercumulativo: produtividade das firmas 99
- 8 Simulações no regime hipercumulativo: preços praticados pelas firmas 99
- 9 Simulações no regime hipercumulativo: *market share* 100
- 10 Simulações no regime hipercumulativo: índice de Hirschman-Herfindahl invertido 101
- 11 Simulações no regime hipercumulativo: competência tecnológica das firmas 101
- 12 Produtividade no regime *science-based* com média seguindo formato logístico 102

## Agradecimentos

---

Entre os maiores desafios que surgem ao longo da elaboração de uma dissertação provavelmente está a repetida tentativa, nem sempre triunfante, de resguardar o entusiasmo e a inspiração, essenciais ao trabalho acadêmico, das inoportunidades que costumam se suceder. Felizmente, como já observou Weber, inspirações são sempre inesperadas e prováveis de ocorrer nas situações e lugares mais insólitos, mesmo que a *imersão* no trabalho de pesquisa tenha sido aparentemente interrompida. De qualquer modo, tão indispensável quanto o acaso da inspiração foi poder sempre contar com o carinho e o zelo de minha mãe, pai e irmãos. Meu afeto maior e minha admiração por essas pessoas, para além da relação consanguínea que nos une, dispensam qualquer menção óbvia de agradecimento. Grande parte do que sou e do que vier a conquistar devo, desde já, creditar à perseverança e ao trabalho de meus pais.

Este trabalho contou com o rigor teórico e o bom gosto *estético* do professor Mario Possas. Sou grato por suas sugestões em conversas que tivemos no início e que ajudaram a deslanchar o trabalho. Sobre suas qualidades profissionais e seu elevado padrão de exigência acadêmica, não tenho nada a acrescentar que já não tenha sido dito e que eu não endosse. Sua seriedade acadêmica, seu raciocínio lógico e crítico e sua exigência por rigor me influenciaram irrevogavelmente.

Sou grato a Paulo Fernando. Longe do Instituto de Economia, compartilhar algumas garrafas de cerveja com ele foi o meio que encontrei para dispor de seu tempo, fazer uma exposição preliminar de algumas coisas e, antes de escrever, contar com seus comentários perspicazes, tentando, com isso, me esquivar da advertência de Keynes, no prefácio de sua obra famosa, sobre as implicações desagradáveis para aqueles que forjam idéias em isolamento, “sobretudo em economia”. O pouco de conversa *evolucionista* foi profícuo e estimulante.

Agradeço aos amigos Cristiano Martins e Martinho Lazzari. Apesar de termos vindo de lugares tão distantes entre si, havia muito em comum em nossa infância que nos fazia sentir relativamente mais próximos e compartilhar de tanta coisa num período longo longe de nossas famílias. Minha saudade deles é maior do que qualquer distância que venha a nos separar.

Agradeço também a Esther Dweck e Pedro Miranda, Luana e Maurício Metri, casais de amigos que me estimularam e que muito prezo. Sou igualmente grato a Arthur Koblitz, cujo interesse no tema me ajudou a não desanimar com o cansaço e que sempre esteve disposto a conversar sobre temas ligados à dissertação. O professor Marco Valente, de muito longe e com muita prontidão, tirou dúvidas sobre o *software* de simulação do modelo que foram decisivas para o trabalho. Sou muito grato também aos professores Jorge Britto e Antônio Licha pelos comentários valiosos.

Agradeço a Ana Lúcia, Ronei e Beth, funcionários sempre dispostos a me ajudar.

Agradeço a Izabel Cristina pelas palavras de carinho e conforto ao longo do mestrado.

A Ana Cristina, a cumplicidade, o afeto e a amizade que nos unem dispensam qualquer menção de gratidão.

## Resumo

---

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de busca tecnológica – procedimentos estratégicos que a firma utiliza visando inovar ou imitar tecnologias que possam dar origem a vantagens competitivas – que procure superar uma série de limitações existentes na corrente de modelos evolucionários que seguem a formalização do processo de mudança técnica contida no modelo de concorrência proposto por Nelson e Winter (1982).

Em primeiro lugar, será proposto um processo de acumulação de conhecimentos e capacitações tecnológicas fundamental na redefinição e ampliação do processo de busca tecnológica. Aspectos psicológicos serão introduzidos na descrição do processo de *depreciação* do estoque de conhecimento tecnológico, caracterizado como um fenômeno específico ao tipo de conhecimento envolvido: basicamente cognitivo, no caso do conhecimento tácito, e tecnológico, no caso do conhecimento codificado.

Em segundo, será introduzida a geração de *spillovers* de P&D extra e intra-industriais, nesse último caso podendo distribuir-se de forma assimétrica entre as firmas, mas cuja internalização, em ambos os casos, está condicionada à “capacidade de absorção” de cada firma, dependendo do seu esforço de P&D. Este é visto em seu papel dual, já que também é fonte interna de conhecimento e capacitação tecnológica.

Em terceiro, será introduzida a cumulatividade tecnológica no processo de busca – um mecanismo que realimenta positivamente o processo probabilístico que define o resultado das tentativas das firmas para obter inovações ou imitações por via do gasto em P&D –, fato estilizado na literatura sobre inovação que aponta para a existência de correlação serial entre indicadores de inovatividade das firmas em indústrias intensivas em P&D.

Em quarto, será endogeneizado o ritmo de crescimento da fronteira de produtividade da firma, o que significará vincular sua trajetória tecnológica a seus níveis de conhecimento e de capacitação tecnológica, tornando específico à firma

o processo de exploração das oportunidades tecnológicas dadas pelo estado da ciência.

Esse esquema analítico será incorporado ao modelo evolucionário de dinâmica industrial proposto por Possas *et al.* (2001). A idéia é introduzir no modelo elementos que superem as limitações que permanecem na corrente de modelos que sucederam o modelo Nelson-Winter, à qual pertence, e o tornem capaz de investigar também, através de exercícios de simulação, os impactos da cumulatividade tecnológica e dos *spillovers* de P&D sobre o desempenho competitivo das firmas e, por extensão, sobre a dinâmica da indústria.

## Introdução

---

Em *An evolutionary theory of economic change*, Richard Nelson e Sidney Winter procuram, basicamente, retomar a questão do progresso técnico como uma das principais fontes de crescimento e mudança estrutural na economia. A perspectiva adotada não apenas parte dos processos microeconômicos de decisão no âmbito da competição entre as firmas nos mercados, mas procura fazê-lo em um ambiente marcado por diversidade comportamental e por processos cumulativos de desajuste e instabilidade estrutural nas trajetórias tecnológicas que podem provocar uma profunda redefinição (endógena) da estrutura do mercado. Num caso e noutro, essa perspectiva está fundamentada, essencialmente, em um arcabouço teórico que integra a noção schumpeteriana de concorrência e os processos de *seleção*, *criação* e *transmissão* de padrões comportamentais – que guardam uma analogia com conceitos da biologia evolucionista – com os padrões decisórios baseados na noção de racionalidade limitada, proposta por Herbert Simon.

Entre os vários modelos que propuseram, o de dinâmica industrial com progresso técnico endógeno [Nelson e Winter (1982, Cap. 12)] foi o que mais se difundiu e forneceu *insights* importantes sobre a relação entre o processo de mudança tecnológica e a estrutura de mercado. Outra versão do modelo [Winter (1984)] explora novas fontes de mudança técnica (entrada de novas firmas) e introduz algumas modificações com a finalidade de dar flexibilidade aos processos decisórios ligados às estratégias de P&D das firmas. A partir daí, surgiram outros modelos que, se por um lado – até por compartilharem das noções teóricas mais fundamentais ali presentes – reforçam e reutilizam a estrutura modelística original desses autores, por outro procuram remover suas simplificações mais evidentes e ampliar seu escopo de análise.

Quanto à superação das simplificações – notadamente, na (1) formação dos preços, (2) na distribuição do mercado (demanda) entre as firmas e (3) na influência (nula) que a demanda tinha sobre as suas decisões de produção e investimento –, recorreu-se, respectivamente – de modo resumido –, ao princípio do custo total; à introdução da equação de Fisher<sup>1</sup> (*replicator dynamic equation*), que asso-

cia sua participação no mercado à sua competitividade (e esta se vincula, essencialmente, aos preços, mas não só); e à subordinação das decisões de investimento e produção às expectativas sobre a demanda. A ampliação do seu escopo, por sua vez, passa não só pela análise do processo de difusão do progresso técnico e dos efeitos de aprendizado na utilização de tecnologias distintas (reforçando suas escolhas), mas também pela incorporação de outros elementos [Possas *et. al.* (2001)] cujas referências (Keynes e Kalecki) importam por serem compatíveis, inclusive entre si, e por abrirem espaço, de modo ainda incipiente, para o tratamento de questões que mesmo hoje são pouco investigadas pelo enfoque evolucionário neoschumpeteriano.

Não obstante, permanecem limitações<sup>2</sup> no modelo Nelson-Winter ligadas ao processo de *busca* (search) tecnológica, processo cuja importância, vale dizer, é dar origem a assimetrias entre as firmas que se realimentam e substanciam as diferenças fundamentais no desempenho competitivo das firmas e na própria dinâmica estrutural da indústria. Mas, como a superação daquelas limitações mais evidentes implicava reutilizar parte de sua estrutura básica, muitas das simplificações no processo de formalização da *busca* tecnológica do modelo Nelson-Winter acabaram sendo herdadas pelos modelos que o sucederam, não obstante os avanços que fizeram, mencionados brevemente.

Assim, o objetivo deste trabalho é propor um modelo de *busca* tecnológica que pretende superar aquelas limitações, com o interesse particular de integrá-lo ao modelo proposto por Possas *et al.* (2001).<sup>3</sup> O modelo proposto procura, em primeiro lugar, formalizar um processo de acumulação de conhecimentos e capacitações tecnológicas que será fundamental na redefinição e ampliação do processo de *busca* tecnológica. Aspectos psicológicos serão introduzidos na descrição do processo de *depreciação* do estoque de conhecimento tecnológico. Em segundo, e ligado ao primeiro objetivo, introduzir *spillovers* de P&D *intra* e *extra-industriais*, com as propriedades de (a) poderem, endogenamente, se distribuir de forma assimétrica entre as firmas e (b) de terem sua internalização condicionada à “capacidade de absorção” de cada uma, o que depende do seu esforço de P&D – que possui papel dual,<sup>4</sup> já que também é fonte interna de conhecimento e capacitação tecnológica. Em terceiro, pretende-se introduzir a cumulatividade tecnológica no processo de *busca*, fato estilizado na literatura sobre inovação evidenciado pela existência de correlação serial entre indicadores de inovatividade das firmas em indústrias intensivas em P&D [cf. Dosi (1984, 1997), Possas (1989a), Malerba e Orsenigo (1997) e Gort e Wall (1986)]. Em quarto, tornar endógeno o ritmo de crescimento da fronteira de produtividade da firma, o que, mais claramente, significará vincular sua trajetória tecnológica a seus níveis de conhecimento e de capacitação tecnológica, tornando específico à firma e endógeno o processo de exploração das oportunidades tecnológicas dadas pelo estado da ciência.

Mas esse apanhado das nossas propostas ainda não representa bem os objetivos e o escopo do trabalho, já que não explica como serão articulados e em que sentido tal articulação resolve as insuficiências apontadas, herdadas do modelo Nelson-Winter. Desse modo, antes de passarmos à apresentação do conteúdo dos



capítulos, parece adequado aludir, com um pouco mais de detalhe, aos aspectos mais importantes de cada uma dessas propostas.

É comum que a utilização de uma variável de estoque – o conhecimento tecnológico da firma, fundado, essencialmente, em seu próprio esforço de P&D – esteja sujeita a um processo de *depreciação*, um tipo de perda que sempre desconta alguma parte, convencionalmente pequena e arbitrária, daquilo que já foi *estocado* pela firma.<sup>5</sup> Mas trata-se de um procedimento que, por não tomar em consideração especificidades do ativo envolvido (o conhecimento), serve, na melhor das hipóteses, apenas como aproximação primária. Em oposição, sustentaremos que seria mais apropriado formular a *depreciação* do estoque de conhecimento tecnológico como um fenômeno cuja natureza é específica ao tipo de conhecimento envolvido: basicamente psicológico, no caso do conhecimento tácito, e tecnológico, no caso do codificado; em nenhum dos dois, a *depreciação* se assemelha com o cálculo análogo convencional dispensado a ativos físicos, seja por desgaste ou por obsolescência.

No caso do conhecimento tácito, a *depreciação* se justifica em face de limitações cognitivas seja no processo de articulação do conhecimento acumulado com aquele mais recentemente adquirido (efeito *interferência*), seja na reutilização do conhecimento adquirido em diferentes períodos (efeito *deterioração*).

Já no conhecimento codificado, o próprio histórico tecnológico da firma, ao evidenciar a adequação maior ou menor das várias partes que compõem sua base de conhecimento tecnológico, indicará a intensidade da depreciação que pode incidir sobre tal parte do conhecimento acumulado. Nesse caso, vale ressaltar, o que deverá importar não é o número absoluto de estratégias tecnológicas cujos resultados se frustraram, mas o seu grau de divergência quanto ao que a firma considera, dado seu nível específico de aspiração, um número razoavelmente satisfatório de resultados indesejados.

Quanto aos *spillovers* de P&D, podemos resumir a proposição afirmando que, para uma capacidade de absorção positiva, os fluxos de *spillovers* que podem existir entre duas firmas variam conforme a distância tecnológica que existe entre elas – medida a partir da base de conhecimento e de capacitações tecnológicas que possuem no período. Contudo, vale notar que, se alguma firma pode se beneficiar relativamente mais do conhecimento de outra do que o contrário, é provável que a firma em situação de desvantagem nesse aspecto possua maior capacidade de absorção dos *spillovers* de P&D das firmas rivais – mas também daqueles provenientes de instituições públicas de pesquisa e firmas em outros setores –, o que pode vir a compensar em alguma medida essa desvantagem. Esse princípio simples nos leva não só a uma formulação distinta do que é encontrado na literatura, já que os *spillovers* de P&D intra-industriais são assimétricos, mas também à conclusão de que podem gerar efeitos de *catching-up*, embora sem qualquer garantia *a priori* de que ocorrerá, em algum horizonte de tempo, qualquer tipo de equalização entre as firmas. E isso porque não se podem subestimar os efeitos dos mecanismos de realimentação do processo de *busca* tecnológica na criação de assimetrias, em tal ordem que, por exemplo, venha a tornar praticamente nulos os fluxos de *spillovers* entre certo par de firmas, em razão das discrepâncias significativas quanto à base de conhecimento que tais firmas possuem.

Esses elementos articulados formam uma *base* de conhecimentos e capacidades tecnológicas específicas à firma que nos permitirá redefinir um novo *regime tecnológico* [cf. Malerba e Orsenigo (1997 e 2000)] para contornar o processo competitivo e o ritmo de progresso técnico entre as firmas na indústria. Cabe notar que o regime tecnológico *science-based*,<sup>6</sup> presente no modelo Nelson-Winter, leva-nos a acreditar que há um processo de exploração das oportunidades tecnológicas, que crescem a todo período, impulsionadas, basicamente, por progressos científicos. A rigor, postulamos que há apenas uma projeção direta – e não uma transição – da produtividade fronteiriça da firma para os *picos* de produtividade dados pela fronteira tecnológica, que cresce continuamente, com uma defasagem de ordem pequena, a ponto de tornar as curvas de produtividade das firmas mais inovadoras praticamente sobrepostas à trajetória da fronteira tecnológica. A deficiência da formulação está em permitir que a exogeneidade do crescimento das oportunidades tecnológicas que a fronteira representa se transmita para a própria trajetória tecnológica (em termos de produtividade) da firma, suprimindo, com isso, o processo de exploração das oportunidades tecnológicas.

Na proposta desenvolvida no Capítulo 3, as firmas realizam sistematicamente um processo de *busca* por novas tecnologias que, seja por inovação, seja por imitação, está sujeito à incerteza de seus resultados e de sua apropriabilidade, ainda que maior no primeiro caso – seguindo, nesse aspecto, o modelo NW. Decorre daí a representação estocástica dos resultados desse processo de *busca* – definido em dois estágios, ambos estocásticos no caso da inovação e apenas o primeiro estágio no caso da imitação. Mas há no modelo aqui proposto dois regimes tecnológicos, a saber, um com condições de cumulatividade *normal* e outro com *hipercumulatividade*, ambas presentes no processo probabilístico (não-markoviano<sup>7</sup>), que define o êxito ou o fracasso do processo de *busca* tecnológica a partir da *base* de conhecimento e da capacitação tecnológica que a firma possui.

O regime *hipercumulativo* é mais geral do que aquele que existe no modelo NW, essencialmente porque as estratégias tecnológicas das firmas podem ser tão mais bem-sucedidas não só por melhor traduzirem as vantagens da inovação ou da imitação obtida no passado recente em maior participação no mercado, mas também por quanto mais sucesso suas estratégias tecnológicas tiverem logrado anteriormente, o que terá um efeito positivo tanto maior quanto mais recentemente ocorreram. Em outras palavras, o sucesso tecnológico das firmas dependerá de seu próprio “histórico tecnológico”, e não apenas do crescimento do estoque de capital (como um modelo NW), ou mesmo do investimento em P&D (como em Possas *et al.*, 2001) – e em ambos os casos, como sustentaremos adiante, não temos uma cumulatividade de natureza tecnológica. A implicação, talvez, mais importante da reformulação proposta é que, no regime *hipercumulativo*, o progresso técnico se torna *path-dependent*. Assim, considerando as limitações impostas pelo âmbito do modelo, unissetorial, e os próprios fatos estilizados na literatura sobre exploração de oportunidades tecnológicas dentro de certo *paradigma tecnológico* [cf. Dosi (1984, 1988 e 1991b)], foi preferível tomar como base sugestões do próprio Winter (1984, p. 228) e analisar o caso em que a exploração dessas oportunidades segue fases distintas. Nesse caso, as formulações anteriores nos permitirão tornar endógeno

o progresso da fronteira de produtividade da firma, cuja evolução dependerá de sua base de conhecimento tecnológico e apresenta retornos específicos por fase, que decrescem à medida que se aproxima da fronteira tecnológica – que é nocional e distante da posição inicial das firmas.

O trabalho se divide em quatro capítulos, além desta introdução. O Capítulo 1 procura sistematizar os principais fundamentos da teoria evolucionária. No Capítulo 2 é feita uma remontagem crítica dos principais modelos evolucionários de dinâmica industrial. Essa resenha tem a dupla finalidade de evidenciar algumas limitações do modelo Nelson-Winter herdadas por modelos sucessores, bem como familiarizar o leitor com os principais modelos de um programa de pesquisa relativamente recente.

No Capítulo 3, será desenvolvido nosso modelo de *busca* tecnológica (inovação e imitação), que pretende superar as limitações do processo análogo do modelo Nelson-Winter, identificadas no capítulo anterior. Seu objetivo é o de tentar articular em um esquema analítico os vários elementos, descritos brevemente acima, que retratam o processo de *busca* tecnológica e, sem perda de generalidade, integrá-lo ao modelo microdinâmico proposto por Possas *et al.* (2001).

No Capítulo 4, por fim, são realizados alguns exercícios de simulação do modelo proposto no capítulo anterior. Esses exercícios são precedidos por uma breve discussão sobre as vantagens dos instrumentos de simulação para analisar modelos dinâmicos que lidam com interações intertemporais complexas e sobre seu potencial enquanto instrumento de teste e avaliação desse tipo de modelo. O propósito das simulações é fazer uma análise comparativa da dinâmica industrial obtida sob uma especificação do processo de *busca* tecnológica à la Nelson-Winter, com os resultados obtidos sob a especificação modelística proposta. Para tanto, foram selecionadas as trajetórias das variáveis mais importantes para caracterizar o padrão de dinâmica industrial obtido (grau de concentração, *market share*, produtividade média, preço médio, entre outras) em ambos os regimes tecnológicos.

## 1. Referencial teórico

---

Entre as inúmeras razões<sup>8</sup> que podem ser levantadas para justificar a recente retomada, sob diferentes perspectivas teóricas, do interesse pela questão da mudança técnica – com destaque para a influência e recente difusão do enfoque evolucionário em economia –, duas podem ser especulativamente destacadas.

Em primeiro lugar, o número crescente de estudos empíricos que apontam para a significativa magnitude do progresso técnico – o famoso *resíduo de Solow*<sup>9</sup> – como fonte principal do crescimento econômico [veja-se, por exemplo, Romer (1986) e Grossman e Helpman (1994)]. Esses estudos se inscrevem no propósito mais geral de retomar os estudos sobre economia do desenvolvimento, visando superar os resultados dos modelos de crescimento *à la* Solow – notadamente a exogeneidade do crescimento resultante do modelo. O estudo de Solow (1957) acerca das fontes de crescimento, vale notar, foi decisivo para retirar a questão do progresso técnico do ostracismo a que foi relegada até os anos 50. Nessa época, a macroeconomia se ocupava quase exclusivamente da análise dos problemas de inflação e desemprego, de modo que os esquemas analíticos compartilhados por muitos desses trabalhos (funções de produção agregados com retornos constantes de escala e com substituição contínua de fatores) podem ser vistos como uma prova da influência exercida pelo trabalho de Solow. Entretanto, nessa nova perspectiva, o progresso técnico vai surgir como uma fonte de crescimento que independe do nível de produto e, portanto, funciona como um elemento compensatório dos rendimentos decrescentes dos demais fatores e que acabaria, por si só, impondo um ritmo regressivo às taxas de crescimento da economia.<sup>10</sup> Como destacam Grossman e Helpman (1994, p. 42), “improvements in technology are the best chance we have to overcome the apparent ‘limits to growth’”.

Em segundo lugar, o crescente reconhecimento das dificuldades da teoria econômica *mainstream* até então produzida em analisar alguns fenômenos econômicos – em particular, os processos de mudança tecnológica e a diversidade de padrões de crescimento a longo prazo (Nelson e Winter, 1982, p. 30; Possas, 1989a, p. 1; Dosi e Nelson, 1994, p. 328) –, a partir de uma abordagem centrada (1) na idéia da

racionalidade maximizadora e (2) na eleição do *equilíbrio*<sup>11</sup> como um pressuposto que, aprioristicamente, descreveria acuradamente a trajetória resultante da interação intertemporal dos agentes econômicos. Vejamos ambos os aspectos mais de perto.

O primeiro pressuposto (o da racionalidade) tanto presume a impossibilidade de haver limitações de ordem econômica e mesmo cognitiva, por parte dos agentes, na coleta e processamento das informações disponíveis, quanto supõe que a presença de incerteza é contornável, em face de sua redutibilidade a risco, pela análise probabilística na determinação das escolhas do agente. O segundo (o do equilíbrio) supostamente indica o *estado* (estático) – ou, no caso dinâmico, o padrão intertemporal *estável* de mudança – para o qual convergem as firmas e, por extensão, a estrutura industrial à qual pertencem. Quanto a esse aspecto, um problema que pode ser comumente apontado é que, dentro de um intervalo de tempo de interesse analítico, nada assegura que reações da firma a mudanças na sua posição estrutural e reações paralelas despertadas nas demais firmas concorrentes venham “a sancionar, ou ainda desencadear reações corretivas suficientemente ágeis e adequadas para assegurar algum equilíbrio à firma; e, menos ainda, para o conjunto do mercado” (Possas, 1988, p. 161). Vale lembrar, também, que os próprios processos de ajuste em direção a alguma trajetória de equilíbrio provocam modificações no próprio ponto (ou padrão de mudança) de equilíbrio, o que implica logicamente que ajustes em períodos específicos entre resultados efetivos e desejados (ou entre realização e produção) não garantem uma convergência contínua, nem sequer assintótica, aos resultados *iniciais* de equilíbrio.

Assim, é do reconhecimento das dificuldades e restrições decorrentes do uso dessas noções que têm emergido esforços, relativamente recentes, para compreender os processos de transformação produtiva e institucional que caracterizam a dinâmica capitalista. Tais esforços se inserem na perspectiva mais geral de construir um enfoque teórico alternativo à abordagem ortodoxa, qual seja, um enfoque *evolucionário* – embora as principais contribuições nessa perspectiva ainda estejam restritas, *grosso modo*, aos efeitos da mudança técnica sobre o desempenho da indústria [cf. Possas (1999, p. 42)].

É claro que a utilização de argumentos evolucionários em economia – a idéia de que a mudança econômica<sup>12</sup> exhibe simetrias com o processo de evolução das espécies, baseada nas mutações genéticas selecionadas pelo meio ambiente – não é recente e seu uso de maneira mais sistemática remonta a Alchian (1950). Vejamos, então, com brevidade as principais características teórico-metodológicas da perspectiva que será adotada ao longo deste trabalho.

## 1.1. Dinâmica e desequilíbrio

O enfoque teórico evolucionário considera que os desequilíbrios são fenômenos comuns da dinâmica econômica, não havendo, em geral, menção a qualquer tendência ao equilíbrio das firmas, simplesmente porque há constantes estímulos para que os agentes promovam alterações e mudanças em suas estratégias,

podendo implicar alterações no próprio estado de equilíbrio para o qual, em tese, estariam convergindo. É possível argumentar que as mudanças associadas à tentativa permanente das firmas de criar assimetrias competitivas podem ser friccionais e exibir algum grau de continuidade suficiente para permitir a absorção de seus efeitos sem implicar comportamentos erráticos ou trajetórias caóticas nas decisões das firmas, mas isso não significa – nem, de modo algum, exclui – que o desequilíbrio provocado não possa dar lugar a processos cumulativos de desajuste, à instabilidade estrutural nas trajetórias tecnológicas e mesmo a uma profunda redefinição estrutural do mercado.

Em sistemas dinâmicos interdependentes – nos quais os agentes se deparam com algum tipo de incerteza irreduzível e mostram interagir de forma complexa com os demais agentes e com variáveis “sistêmicas”, de forma que suas decisões se revelam adequadas apenas *ex post* –, não haveria como endossar a idéia de que existe um equilíbrio prévio, conhecido e inteligível, que possa orientar suas decisões e torná-las mutuamente consistentes (com tal equilíbrio) em algum sentido dinamicamente estável [Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988)].

Como vai ficar patente no capítulo seguinte, quando da análise de modelos evolucionários referenciais de dinâmica industrial, o desequilíbrio é uma possibilidade lógica e mesmo teórica responsável pela emergência de processos (redirecionamento estratégico e revisão de rotinas operacionais) e estados que são relevantes para a dinâmica econômica e, portanto, para uma teoria da mudança técnica. Particularmente nesse aspecto, tais modelos seguem de perto os escritos de J. Schumpeter, que já destacavam o desequilíbrio produzido pelas iniciativas inovativas das firmas como característica intrínseca da dinâmica concorrencial.

Ao contrário do que a abordagem predominante possa sugerir, o desequilíbrio (nas interações, e não do indivíduo) não implica a impossibilidade de teorização do objeto por inexistência de regularidades, já que “ordem não se confunde com equilíbrio, mas pode resultar do processo complexo, que tem sido denominado ‘auto-organização’, pelo qual a interação estrutura-decisões dos agentes repõe a própria estrutura” (Possas, 1988, p. 175). No enfoque teórico evolucionário, o mercado é teorizado como locus principal da seleção das inovações técnico-econômicas, resultante de sua interação com as firmas – e não como um mecanismo cuja natureza é inexoravelmente impelir os agentes a ajustes compensatórios que eliminem as divergências e, com isso, produzir um equilíbrio estrutural. Evidentemente, isso não implica rejeitar o equilíbrio como um resultado logicamente possível decorrente da interação dinâmica dos agentes; implica, sim, rejeitá-lo como um resultado *apriorístico* que descreve essas interações ou mesmo como um único resultado logicamente factível – sobretudo quando se tem em mente que, numa economia de mercado, tais interações são marcadas pela autonomia decisória dos agentes envolvidos e pela interdependência intertemporal de suas decisões com relação às ações e expectativas dos demais.

A problemática envolvida na noção de equilíbrio não parece dissipar-se mesmo se argumentarmos, como faz Lisboa (1998, p. 139), que o conceito de equilíbrio “apenas expressa que cada agente está escolhendo o que prefere no primeiro

período e que as expectativas individuais sobre o que pode ocorrer são consistentes com o que de fato pode ocorrer na economia”. De fato, não é surpreendente que a imposição de convergência aos resultados da interação dos agentes desapareça quando deslocarmos o foco descritivo da noção de equilíbrio para o plano de ação de cada indivíduo (e não mais para descrever o estado de interação entre os agentes em que incentivos distintos e ações excludentes se cancelam mutuamente). A estratégia de imunização parece não ser adequada, já que aparentemente qualquer decisão do agente pode facilmente se enquadrar no critério acima. Logo, se o equilíbrio é, como citado anteriormente, apenas uma conceituação da consistência das decisões dos agentes com suas expectativas – existente mesmo quando tais expectativas são frustradas *ex post* –, ele deve ser, mais uma vez, descartado, por se tratar, nesse caso, de tautologia sem qualquer relevância teórica.

Isso também não significa, por uma razão ou outra, que os modelos econômicos evolucionários de dinâmica industrial ou mesmo de crescimento<sup>13</sup> assumam antecipada e restritivamente algum tipo específico de trajetória de desequilíbrio ou imponham algum tipo de *inconsistência* no processo de coordenação decisória entre os agentes. Significa apenas que os resultados ou trajetórias, sejam quais forem, estão em aberto e devem emergir endogenamente da interação dos processos de decisão individuais (mas interdependentes) e de seus resultados ao longo do tempo – que, por sua vez, realimentaram as decisões (e os resultados) ulteriores.

## 1.2. Racionalidade sob incerteza: o comportamento guiado por rotinas

O padrão de racionalidade predominante na literatura neo-schumpeteriana segue de perto a abordagem de Simon (1979 e 1987) para os problemas de decisão. Diferentemente do tipo predominante de racionalidade com que vem lidando grande parte da literatura econômica – quase univocamente associada a processos de otimização –, a formalização dos processos decisórios na literatura evolucionária procura compatibilizar três aspectos, a saber:

- 1) a impossibilidade prática de um conhecimento completo acerca de todas as possibilidades de decisão;
- 2) o fato de que nosso conhecimento das conseqüências que estão associadas a cada possível ação é fragmentário; e
- 3) o caráter imperfeito de qualquer tentativa de antecipação de certos eventos – nesse caso, corolário lógico de uma economia com agentes que decidem de forma autônoma e cujas decisões são interdependentes.

Haveria, então, adicionalmente, três aspectos da relação dos agentes com o sistema econômico que condicionariam suas decisões, de modo que suas condutas decisórias levassem a comportamentos que apontam mais para práticas rotineiras baseadas em regras simples do que para decisões de acordo com procedimentos de maximização de objetivos com conhecimento pleno dos resultados associados ao conjunto de alternativas:



1) a incerteza – tomada de decisões com desconhecimento do comportamento presente das variáveis relevantes e impossibilidade de antever, mesmo em termos probabilísticos, eventos que possam influenciar as decisões correntes;

2) as próprias limitações cognitivas e computacionais na solução de problemas complexos; e

3) a magnitude dos custos econômicos de coleta e processamento de informações na tentativa de operar estratégias ótimas.

Desse modo, as rotinas – padrões de ação organizacional gerados por procedimentos heurísticos – representariam processos relativamente automatizados cuja utilização simplificaria as decisões, reduzindo o número de variáveis envolvidas e o custo no processamento, cálculo e gerenciamento das decisões.

### 1.3. Busca e seleção

Há duas noções centrais – bastante representativas da influência que recebe da biologia evolucionista – que, em sua complementaridade, amparam o núcleo teórico evolucionário na tentativa de integrar a mudança técnica com a transformação estrutural da economia, a saber, as noções de busca (*search*) e seleção.

A busca tecnológica é responsável pela introdução de inovações que podem implicar mudanças tanto nas rotinas operacionais quanto nos processos técnico-produtivos, sempre na perspectiva de obter – ou manter – vantagens competitivas. Os modelos tributários dessa corrente procuram tornar explícita a idéia de que a dinâmica competitiva nos mercados possui mecanismos intrínsecos – introdução de inovações, sua difusão por via da imitação e a existência de processos (por vezes imperfeitos) de aprendizado – que operam uma pressão seletiva sobre um conjunto de firmas marcadas pela diversidade (estratégica, de base técnica, de competências), provocando alterações, ao longo do tempo, nas características das firmas e em sua importância relativa no mercado.

A seleção, por sua vez, representa o mecanismo de validação e redirecionamento dos processos e resultados da busca, que podem levar à eliminação ou à alteração de tecnologias ou estratégias insatisfatórias, isto é, estratégias que não produzam os resultados esperados em termos de lucratividade ou mesmo de participação de mercado, seja por obsolescência (caso das tecnologias), seja por inadequação resultante de cálculo equivocado, devido à utilização de premissas falsas; por exemplo, sobre cenários econômicos ou certo tipo de reação das firmas rivais (caso das estratégias). Os mecanismos de seleção em economia, diferentemente da biologia evolucionista, não impõem, necessariamente, que as firmas – possíveis unidades de seleção<sup>14</sup> – menos eficientes sejam eliminadas do mercado. O grau de aptidão (*fitness*) das firmas provavelmente será determinado por vários critérios (qualidade do produto, preços, atraso de entrega, serviços pós-venda etc.) que, a despeito da possibilidade de conflitarem entre si, procuram refletir de algum modo



a eficiência da firma na sua busca por oportunidades de lucro. Obviamente, os estímulos que induzem as firmas a se engajarem em processos de busca são fortemente influenciados por esses mesmos mecanismos de seleção.

A interação de ambos os processos (busca e seleção) responde não apenas pela determinação *endógena* tanto do comportamento das firmas quanto dos resultados de mercado, mas também por processos de mudança estrutural – que em nada se assemelham a um processo de ajuste compensatório, que torna *homogêneo* o padrão de ação (e reação) dos agentes, de forma a produzir (ou fazer convergir a) uma situação de equilíbrio no mercado.

De resto, e em favor do enfoque teórico aqui assumido, cabe notar que os trabalhos empíricos com orientação evolucionária têm não apenas fornecido taxonomias úteis para a fundamentação de suposições comportamentais – e para a *coleção* de fatos estilizados –, mas também sugerido generalizações significativas para o trabalho teórico. Os modelos formalizados, que exibem várias formas de não-linearidades e que procuram explorar as propriedades dos sistemas dinâmicos, têm permitido um tratamento analítico rigoroso dos processos evolucionários, além da possibilidade de se executarem simulações em computador – em vez de fornecerem apenas soluções analíticas –, tornando possível a dedução de propriedades das trajetórias de importantes variáveis da dinâmica industrial [veja-se Nelson (1995)].

## 2. Concorrência e mudança tecnológica: modelos evolucionários de dinâmica industrial

---

O objetivo deste capítulo é realizar uma remontagem crítica dos principais modelos de dinâmica industrial da corrente evolucionária neo-schumpeteriana, a fim de identificar limitações cuja tentativa de superação justificará a proposta deste trabalho. Tais limitações, em geral herdadas do modelo pioneiro de Nelson e Winter (1982, Cap. 12), derivam, na maior parte dos casos, da não-incorporação de características importantes ligadas à atividade de P&D e ao processo de mudança tecnológica.

A apresentação de cada um dos modelos está estruturada basicamente da seguinte forma: em primeiro lugar, é feita uma descrição de suas principais características analíticas e de sua proposta teórica, seguida de uma apresentação das diferenças que possui em relação a seus antecedentes; em segundo, discutem-se as limitações ligadas ao processo de inovação e mudança tecnológica, assim como os possíveis problemas internos ao modelo que estejam mais diretamente ligados aos objetivos do trabalho.

Os modelos que serão analisados, longe de representarem uma lista exaustiva, foram escolhidos em razão de sua significância teórica. No caso do modelo desenvolvido por Nelson e Winter (1982, Cap. 12), isso está relacionado, basicamente, a dois elementos: ao pioneirismo na modelação (dinâmica) da concorrência com mudança técnica endógena<sup>15</sup> e sob pressupostos de desequilíbrio e racionalidade limitada; e à influência que exerce sobre toda uma corrente de modelos de dinâmica industrial.

No caso dos demais modelos [Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988); Chiaromonte e Dosi (1993); e Possas e Koblitz *et al.* (2001)], essa significância teórica está mais ligada à contribuição que representam, sob, pelo menos, um dos seguintes aspectos: (a) na superação de características analíticas deficientes ou na ampliação do escopo de análise do modelo NW; e (b) na tentativa de utilizar referências teóricas (consistentes com o enfoque evolucionário), para além de Schumpeter, que permi-

tam incorporar aspectos relevantes pouco discutidos (e.g., a influência do lado da demanda) ou ainda ampliar os mecanismos de adaptação estratégica dos agentes. A importância teórica que a incorporação dessas referências possui decorre, sobretudo, das contribuições que podem oferecer ao desafio presente de suprir as deficientes ligações entre os níveis micro e macro,<sup>16</sup> em particular, dos modelos macroeconômicos evolucionários – integrando analiticamente os níveis micro (decisões) e macroeconômico (efeitos) e o *feedback* existente entre ambos.<sup>17</sup>

Mas, que propriedades são necessárias e ou suficientes para tornar um modelo evolucionário? Primeiramente, o caráter dinâmico dos modelos, sobre o que, aliás, Marengo e Willinger (1997, p. 332) observam: “This does not simply require putting a variable *t* (for ‘time’) in our models, but, more fundamentally, requires us to be explicit in modelling the process which does or does not drive the system to any stationary state.” Admitindo-se que o sistema econômico permanece por um longo intervalo de tempo distante de algum estado estacionário – talvez longo o suficiente para não ter relevância econômica<sup>18</sup> –, a implicação analítica mais direta disso é uma modelagem centrada na dinâmica que os comportamentos em “desequilíbrio”<sup>19</sup> envolvem, ou seja, nos efeitos intertemporais e cumulativos associados às inovações e na descrição dos processos de mudança, e não na representação dos estados estáveis, para os quais o sistema converge a *longo prazo*.<sup>20</sup> Como observa Dosi (1991b), “(...) we are in the path-dependent world (...), wherein the long-term positions of the system may well depend on even minor initial *fluctuations*, individual choices, institutions, and policy measures”.

Entre os relatos de vários autores [Andersen (1996); Dosi e Nelson (1994); Marengo e Willinger (1997); Nelson e Winter (1982, Parte I); Possas (1989a); e Saviotti e Metcalfe (1991, Cap.1)] acerca do conjunto mínimo de características que devem possuir os modelos econômicos evolucionários, haverá ainda, pelo menos, duas propriedades teóricas consideradas *suficientes* para qualificar (além da já citada) um modelo como evolucionário, a saber: (a) a diversidade comportamental das firmas – uma espécie de princípio de variação; e (b) os processos seletivos (algo como *punição* e *recompensa* por certas características) que conduzam a desempenhos diferenciados das firmas, expressos, por exemplo, em diferentes taxas de crescimento entre as firmas.

A primeira característica é responsável pela introdução de inovações pelas unidades microeconômicas no funcionamento do sistema, cuja sustentabilidade é necessária para garantir heterogeneidade. Já o processo de *seleção*, por sua vez, permite identificar relações causais no processo de competição nos mercados que produzem mudanças nas características dos agentes<sup>21</sup> (participação de mercado, regras decisórias, conteúdo das estratégias etc.). Deve ficar claro que a ocorrência de qualquer tipo de processo seletivo depende (logicamente) da existência prévia de variedade nos atributos econômicos das firmas.<sup>22</sup>

No tocante à classificação dos modelos evolucionários de inovação e dinâmica industrial, há pelo menos quatro possibilidades:

- i) quanto ao tipo de inovação operacionalizada no modelo: de processo ou de produto, sendo o primeiro tipo o mais usual;<sup>23</sup>

- ii) quanto ao efeito de primeira ordem do sucesso inovativo (ou imitativo): incrementos na produtividade do capital ou aumento da produtividade do trabalho;<sup>24</sup>
- iii) quanto à existência ou não de entrada (e as barreiras associadas) de novas firmas no mercado, o que, combinado com a existência simultânea de mecanismos de expulsão, e dependendo das “barreiras à imitação”, afeta a velocidade com que os ganhos cumulativos do sucesso inovativo vão alterando endogenamente a estrutura do mercado.<sup>25</sup>
- iv) quanto ao regime tecnológico prevalecente, que especifica a cumulatividade da atividade inovativa, as condições de apropriabilidade dos ganhos provenientes das inovações e o ritmo e a forma de expansão das oportunidades tecnológicas.

Em geral, uma classificação apenas cronológica ou autoral de modelos econômicos tende a ser teoricamente pobre, porque ignora importantes diferenças. No entanto, a continuidade conceitual entre os modelos aqui listados os torna, sob qualquer desses critérios classificatórios referidos, teoricamente *equivalentes*. Logo, a análise de cada um deles seguirá uma ordem cronológica – o que facilitará focar em que medida certos aspectos de cada modelo superam especificações anteriores.

## 2.1 O esquema de modelagem evolucionária: o modelo Nelson-Winter

O modelo apresentado em Nelson e Winter (1982, Cap. 12) procura focalizar as relações de causalidade existentes entre a estrutura do mercado, os gastos em P&D e variáveis indicativas do desempenho da indústria – cujo produto é homogêneo, as técnicas se modificam quanto à produtividade do capital e o comportamento das firmas é baseado em diferentes tipos de rotinas (operacionais, tecnológicas etc.). É através da *busca* tecnológica que as firmas, seja por imitação, seja por inovação, introduzem novas técnicas no intuito de manter ou obter melhor desempenho no processo competitivo. A centralidade desse procedimento deriva, não por acaso, de sua importância na criação de assimetrias competitivas resultantes do impacto diferenciado que o sucesso inovativo e imitativo, traduzido em vantagens de custo ou outras, possui sobre o desempenho das firmas ao longo do tempo. A diversidade entre as firmas que se origina dessas diferenças tecnológicas alimenta o processo seletivo que opera sobre um dado conjunto de características (tecnologias e estratégias) da indústria e influencia a própria velocidade e direção dos processos de mudança técnica, dentro e para além do *paradigma* tecnológico prevalecente.

### 2.1.1. Pressupostos teóricos

Há sete hipóteses de ordem estrutural que ajudam a caracterizar a indústria e o próprio ambiente seletivo de operação das firmas:

1) As firmas produzem um produto homogêneo – o que implica a impossibilidade de concorrência por diferenciação de produto.

2) Os preços praticados pelas firmas são determinados pela função preço-demanda da indústria.

3) A firma  $j$  opera com a sua melhor técnica  $(t_{i,j}^*)$  disponível, dentro das opções do conjunto de possibilidades técnicas disponíveis no período  $t$ ,  $\mathbf{T}_j^{(t)}$ ; tal conjunto representa, na verdade, uma coleção de  $n$  técnicas que a firma  $j$  possui  $(t_{i,j})$ , de modo que a cada técnica  $i$  estará associada um nível de produtividade do capital,  $A_{t_i}$ . Tem-se então que

$$t_{i,j}^* = t_{p,j}(A_{t_p}) \in \mathbf{T}_j^{(t)}; A_{t_p} \geq A_{t_i} \forall p \neq i,$$

em que  $p = 1, \dots, n$  e  $i = 1, \dots, n$ , sendo possível definir um conjunto de índices  $I_n = \{p \in \mathbb{N}; 1 \leq p \leq n\}$  para indexar  $\mathbf{T}_j^{(t)}$ , de forma que  $\chi: I_n \rightarrow \mathbf{T}_j^{(t)}$  é uma bijeção para algum  $n \in \mathbb{N}$  – o que implica que  $\mathbf{T}_j^{(t)}$ , o conjunto de técnicas produtivas disponíveis à firma no período  $t$ , é limitado.

4) Conquanto existam diferenças de produtividade entre as técnicas disponíveis em toda a indústria, tais técnicas possuem invariavelmente retornos constantes de escala.

5) A tecnologia de produção tem coeficientes fixos de insumo (no que segue uma função de produção do tipo Leontief), não havendo, portanto, substituição direta de trabalho por capital. Como se trata de uma tecnologia *complementar*, o nível de produção máximo é determinado sempre pelo estoque de capital de que cada firma dispõe, sendo os mesmos os insumos complementares necessários para cada unidade de capital [(Nelson e Winter (1982, p. 282)]. As hipóteses 5 e 4 podem ser conjuntamente formalizadas; se supusermos que  $v_{j,t}$  é a relação capital-produto no período  $t$  da firma  $j$ , teremos que

$$Q_{j,t} = \xi \left( \frac{K_{j,t}}{v_{j,t}} \right) \forall j = 1, \dots, n,$$

em que  $\xi: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  e  $\xi(0) = 0$  e sendo que toda a técnica utilizada possui retornos constantes de escala,

$$\xi \left( \mu \frac{K_{j,t}}{v_{j,t}} \right) = \mu Q_{j,t} \forall v_{j,t}; j = 1, \dots, n \text{ e } t \in \mathbb{N};$$

6) A oferta dos insumos complementares (trabalho,  $L^s$ , e matérias-primas,  $I^s$ ) é suposta perfeitamente elástica; logo, os preços dos insumos são considerados constantes para a indústria, independentemente da magnitude das demandas da indústria ( $L^d$  e  $I^d$ ). Supondo, sem perda de generalidade, que, assim como o trabalho, as matérias-primas (insumo  $I$ ) também são ofertadas através de um único mercado, que pratica os preços  $P^L$  e  $P^I$ , respectivamente, então:

$$L^s > 0 ; P^L = \bar{\alpha} \forall 0 < L^d < \infty (\bar{\alpha} > 0) \text{ e}$$

$$I^s > 0 ; P^I = \bar{\beta} \forall 0 < I^d < \infty (\bar{\beta} > 0).$$

7) Quanto às estratégias tecnológicas, as firmas dispõem de dois métodos de incremento da produtividade: gastos em P&D imitativo (copiar processos) e ou gastos em P&D inovativo ( $G_{i,t}^m$  e  $G_{i,t}^n$ , respectivamente), responsáveis pelo esforço de capacitação (para domínio, operacionalização e desenvolvimento da tecnologia) e de elaboração de projetos, que tornam factível a introdução de novas técnicas (*stricto sensu*) produtivas.<sup>26</sup> Ambos os gastos em P&D envolvem resultados incertos. A magnitude desses gastos refletirá o tamanho da firma, uma vez que é proporcional ao seu capital:

$$G_{i,t}^m = r_i^m K_{i,t}$$

$$G_{i,t}^n = r_i^n K_{i,t},$$

em que  $r_i^m$  e  $r_i^n$  representam os custos por unidade de capital com P&D imitativo e inovativo.

Das hipóteses 5 e 6, segue-se que o custo por unidade de capital é constante, mas, pela hipótese 7, segue-se que o custo por unidade de produto é variável, uma vez que a *descoberta* (via P&D) de novas técnicas permite à firma incrementar o produto por unidade de capital.

### 2.1.2. Módulos de produção, investimento e busca tecnológica

O modelo está estruturado em três módulos. Em um módulo é descrito um processo econômico simplificado no qual são realizados o cálculo da produção da firma, da indústria e do preço, a estrutura de custos e os lucros líquidos. Formalmente, eles podem ser descritos pelas seguintes equações:

$$Q_{i,t} = A_{i,t} K_{i,t} \quad (1)$$

$$Q_t = \sum_{i=1}^n Q_{i,t} = \sum_{i=1}^n A_{i,t} K_{i,t} \quad (2)$$

As equações (1) e (2) descrevem, respectivamente, a produção da  $i$ -ésima firma no período  $t$  e o volume total de produção da indústria no mesmo período, calculado por agregação do nível de produção ( $Q_{i,t}$ ) de cada uma das  $n$  firmas da indústria, que, por sua vez, é determinado pelo produto do estoque de capital ( $K_{i,t}$ ) pelo nível de produtividade ( $A_{i,t}$ ). Quanto ao preço e lucro da firma, temos que

$$P_t = \Psi(Q_t) \text{ tal que } P_t \in [0, \Psi(0)], \quad (3)$$

em que  $\Psi(0) < \infty$  e  $\lim_{Q \rightarrow \infty} \Psi(Q) = 0$ ,

$$\Pi_{i,t} = P_t A_{i,t} - \frac{1}{K_{i,t}} (C + G_{i,t}^m + G_{i,t}^n) \quad (4)$$

em que a equação (3) indica a função demanda,  $\Psi(\cdot)$  (constante com elasticidade unitária), contínua e decrescente, com a qual se depara a indústria: toda a sua produção é vendida ao preço  $P_t$ , determinado por tais condições de demanda. A equação (4) descreve o lucro econômico da  $i$ -ésima firma por unidade de capital no período  $t$ , que nada mais é do que a receita total por unidade de capital, subtraída do custo total de produção por unidade de capital ( $C_{i,t}/K_{i,t}$ ), incluídos os gastos com atividade de P&D ( $G_{i,t}^m + G_{i,t}^n/K_{i,t}$ ).

As equações seguintes, entre (5) e (8), especificam as decisões de investimento (bruto) da firma

$$K_{i,t+1} = K_{i,t} (1 + I_{i,t} - d), \text{ em que} \quad (5)$$

$$I_{i,t} = \max \{0, \min(I_{i,t}^D, I_{i,t}^F)\} \text{ tal que} \quad (6)$$

$$I_{i,t}^F = d + \Pi_{i,t}^l (1 + \varepsilon) \text{ e} \quad (7)$$

$$I_{i,t}^D = d + \left(1 - \frac{m_{i,t}^*}{m_{i,t}}\right). \quad (8)$$

Na equação (5), observam-se as condições necessárias para uma ampliação do estoque de capital da firma, a saber: que a taxa efetiva de investimento da firma  $i$  no período  $t$  seja superior à taxa de depreciação,  $d$ , ou seja,  $I_{i,t} > d \rightarrow K_{i,t+1} > K_{i,t}$ . As equações (7) e (8) indicam a taxa de investimento máxima e desejada, respectivamente:  $d$  é taxa de depreciação do estoque de capital e  $\varepsilon$  é o coeficiente bancário que indica o número máximo de unidades de crédito de que a firma pode dispor, para cada unidade de lucro líquido por unidade de capital, para financiar suas decisões de investimento. A taxa de investimento é limitada superiormente por uma restrição financeira, determinada exclusivamente pelo lucro líquido da firma, e inferiormente por uma condição de não-negatividade, qual seja, que os investimentos sejam, no mínimo, suficientes para a reposição das máquinas depreciadas. Em (8),  $m_{i,t}$  é o *markup* efetivo da firma  $i$  no período  $t$  e  $m_{i,t}^*$  é o nível de *markup* desejado e julgado compatível com seu peso relativo dentro da indústria no período. A idéia é que o *markup* desejado reflita, de um lado, as limitações colocadas pelo efeito adverso que uma expansão desmedida da firma teria sobre sua própria lucratividade – expressas em seu *market share*,  $s_{i,t}$  – e, de outro, os impulsos *subjativos* que levam a firma a tomar suas decisões de investimento, baseada menos em uma avaliação prospectiva das condições de demanda e mais em seu próprio senso de oportunidade na exploração das oportunidades de lucro que a expansão do estoque de capital pode permitir – pelos efeitos cumulativos que possui sobre a capacidade inovativa ou imitativa das firmas. Tem-se então que

$$m_{i,t}^* = \frac{2\varphi - s_{i,t}}{2\varphi - 2s_{i,t}}, \quad (9)$$

em que  $\varphi$  indica o grau de *agressividade*<sup>27</sup> das estratégias de investimento da firma.

As equações a seguir (10-14) tratam, por sua vez, do módulo de busca tecnológica, parte do modelo que especifica os processos pelos quais as novas técnicas são criadas e como sua incorporação modifica a produtividade da firma e da indústria:

$$\Pr(d_{i,t}^m = 1) = a^m G_{i,t}^m \quad (10)$$

$$\Pr(d_{i,t}^m = 1) = a^m G_{i,t}^m \quad (11)$$

$$\log(\Phi_{i,t}) \sim N(\mu(t), \sigma^2) \text{ e} \quad (12)$$

$$\mu(t) = P_0(1 + v t) \quad (13)$$

$$A_{i,t} = \text{Max}\{A_{i(t-1)}, \hat{A}_{i,t}, \Phi_{i,t}\} \quad (14)$$

A atividade inovativa é modelada como um processo estocástico de dois estágios, o qual irá definir os níveis de produtividade alcançáveis pela atividade de P&D. No primeiro estágio, as equações (10) e (11), são definidas as respectivas probabilidades de obtenção de sucesso inovativo e imitativo, tanto maiores quanto maior o respectivo gasto (imitativo ou inovativo) em P&D<sup>28</sup> da firma, com a restrição, para um  $\delta$  arbitrariamente pequeno, de que

$$\forall r_i > 0 \exists \delta > 0 \mid \left\{ 1 - \lim_{r_i \rightarrow 1} \Pr(d = 1) \right\} \geq \delta. \quad ^{29}$$

Um sucesso imitativo ( $d_{i,t}^m = 1$ ) automaticamente garante à firma incorporar ao seu estoque de capital a produtividade da melhor técnica utilizada na indústria. Obter um sucesso inovativo, por sua vez, implica acessar uma tecnologia (segundo estágio) cuja produtividade não é conhecida previamente, mas que é resultado de um processo estocástico. Nesse sentido, há dupla incerteza nesse processo inovativo. Por um lado, o comprometimento permanente das firmas com uma política de gastos em P&D não garante que algum sucesso tecnológico será obtido. Por outro, mesmo que a firma obtenha um sucesso inovativo, o resultado alcançável (o nível de produtividade) pode estar aquém do nível prevalecente de produtividade da firma. No caso de um sucesso inovativo, por sua vez ( $d^n = 1$ ), a produtividade a ser obtida,  $\Phi_{i,t}$ , é uma variável aleatória que possui distribuição *log* normal [equação (12)] cuja média, como especificado em (13), cresce a uma taxa exógena ( $v$ ) em que  $P_0$  é a produtividade inicial. Tal taxa  $v$  dá a medida do ritmo de expansão da *produtividade latente* (Nelson e Winter, 1982, p. 283) – uma aproximação do ritmo de crescimento das oportunidades tecnológicas impulsionado pelos desenvolvimentos técnicos e científicos exógenos à indústria. A equação (14) indica o processo de escolha tecnológica no qual a firma decide a técnica a ser utilizada dentre o conjunto de técnicas alternativas às quais estão associados diferentes níveis de produtividade – a produtividade da técnica *copiada* ( $\hat{A}_{i,t}$ ), a produtividade obtida através do sucesso inovativo ( $\Phi_{i,t}$ ), além da produtividade da técnica até então utilizada pela firma ( $A_{i(t-1)}$ ).

A *regularidade* existente nas decisões de investimento em P&D – já que as firmas permanentemente destinam uma proporção fixa do valor de seu estoque de capital – evidencia que a busca tecnológica não é um processo passivo de ajusta-



mento compensatório de perdas de participação no mercado ou de modificações nas relações de preço entre os *fatores*, mas sim um instrumento de criação de vantagens competitivas tanto maiores quanto maior o grau de pioneirismo nas descobertas e de apropriabilidade de seus resultados – em que pese a incerteza<sup>30</sup> relativamente maior que cerca as decisões de investimento em P&D, comparadas às decisões de produção e investimento em expansão de capacidade produtiva. Isso não significa que a decisão de investir em P&D seja de natureza totalmente subjetiva – produto de algum tipo de *animal spirits* – ou exclusivamente restrita aos aspectos tão-somente técnicos envolvidos no processo de inovação, mas, certamente, uma combinação de ambos que envolve ainda condições institucionais. Desse modo, é razoável postular que a decisão de investir em P&D depende, basicamente, de três elementos:

a) De uma avaliação das potencialidades de aprendizado e dos ganhos cumulativos da inovação – que podem permitir incrementos na sua capacidade inovativa e permitir avançar mais rapidamente em uma trajetória tecnológica.

b) Das condições de apropriabilidade dos resultados da inovação, isto é, dos mecanismos que permitem algum grau de *exclusividade* na exploração dos resultados da inovação. Essa avaliação depende, basicamente, de dois fatores: (i) da existência de regras institucionais que regulem direitos de propriedade (sistema de patentes) e (ii) das condições propriamente tecnológicas, que podem, pela complexidade envolvida, dificultar ou retardar o processo de difusão da inovação por imitação – o que significaria uma diluição mais lenta da rentabilidade extra proveniente da inovação selecionada pelo mercado.

c) Do custo e das dificuldades envolvidas no processo inovativo decorrentes do estado atual do conhecimento científico na(s) área(s) mais relevante(s) para o desenvolvimento tecnológico da indústria em questão.

### **2.1.3. Limitações e problemas internos ao modelo Nelson-Winter**

Em que pese a relevância do modelo NW, pelo pioneirismo na tentativa de integrar analiticamente diferentes elementos,<sup>31</sup> ele apresenta algumas deficiências e limitações – além daquelas já identificadas na literatura sobre o tema.<sup>32</sup>

Em primeiro lugar, por supor que as firmas vendem toda a produção (elas operam sempre em plena capacidade), o modelo ignora as implicações intertemporais dos ajustamentos realizados no *início* de cada período de produção sobre as decisões de produção e investimento nos períodos subseqüentes, ajustamentos esses induzidos pela realização de um valor de vendas diferente dos valores esperados quando do cálculo de produção empreendido pela firma. É como se se supusesse, à la Keynes, que as expectativas de venda sempre se confirmam<sup>33</sup> – ou seja, que toda a produção é realizada. É curioso, pela própria importância que os desequilíbrios, mesmo de curto prazo, possuem dentro do enfoque evolucionário neo-schumpeteriano, que os autores tenham ignorado os efeitos de indução da demanda sobre a dinâmica das firmas e tenham tornado o *markup* efetivo (razão preço-custo) e seu *market share* as variáveis que, de forma exclusiva e sobrecarregada, determinam as decisões de expansão e contração.

Em segundo, a formalização do processo de inovação ou imitação não captura o efeito da cumulatividade dos avanços tecnológicos, esvaziando a natureza *path-dependent* da atividade de busca tecnológica – uma importante propriedade da atividade de P&D e do próprio aprendizado tecnológico [cf. Sahal (1981); Dosi (1984); Freeman (1994); e Dosi et al. (1995; p. 418 *passim*)]. Da forma como descrita por Nelson e Winter (1982, Cap. 12), apenas a magnitude do gasto em P&D influencia as chances de sucesso inovativo e ou imitativo de uma certa firma  $i$ ; ou seja, se supusermos (para o caso inovativo – daí o subscrito  $n$  –, embora as considerações sejam válidas para o caso da firma que realiza P&D imitativo), por simplificação, que  $G_{i,t}^n = G_{i,t-1}^n$ , e ainda que nos restringíssemos apenas aos resultados mais recentes da busca inovativa ( $d_{i,(t-1)}^n$ ), fica valendo a igualdade a seguir:

$$\Pr(d_{i,t}^n = 1 | d_{i,(t-1)}^n = 1) = \Pr(d_{i,t}^n = 1 | d_{i,(t-1)}^n = 0) , \quad (15)$$

o que claramente negligencia a influência da acumulação de conhecimento e da competência tecnológica da firma expressa no desempenho (sucessos e fracassos obtidos) passado de suas estratégias tecnológicas. Uma reformulação analítica desse aspecto implicaria ampliar os elementos que influenciam o processo de busca tecnológica, de forma a produzir (enquanto propriedade) uma desigualdade estrita nessa equação, capturando assim os efeitos dos ganhos de aprendizado decorrentes da cumulatividade da atividade de busca tecnológica; isto é:

$$\Pr(d_{i,t}^n = 1 | d_{i,t-m}^n = 1) > \Pr(d_{i,t}^n = 1 | d_{i,t-m}^n = 0) \quad \forall m = 1, \dots, p \text{ (em que } p \leq t-1) \quad (16)$$

e mais geralmente

$$\Pr(d_t^n = 1 | d_{t-i}^n = 1) > \Pr(d_t^n = 1 | d_{t-j}^n = 1) \quad \forall i < j. \quad (17)$$

A formulação na equação (17) recorre implicitamente à idéia de que, estando a firma no  $n$ -ésimo período de operação, é possível definir uma variável,  $I_{i,t-m}^d$ , que indicaria a importância relativa do sucesso inovativo ( $d_{i,t}^n = 1$ ) da firma  $i$  no momento  $t-m$  para o sucesso da busca inovativa no período  $t$ , de modo que seja razoável postular que

$$I_{i,t-m}^d > I_{i,t-n}^d \quad \forall m < n$$

em que  $I_{i,t-m}^d > 0 \quad \forall m \in \mathbb{N}$ , de que se seguirá que nossa formulação terá a seguinte propriedade:

**Propriedade:** Sejam  $\Psi_i = \{t; d_{i,t}^n = 1\}$  e  $\Psi_j = \{t; d_{j,t}^n = 1\}$  conjuntos compactos, que representam, respectivamente, a coleção de períodos, ao longo da trajetória de operação da firma  $i$  e  $j$ , que indicam os momentos em que sua busca inovativa foi bem-sucedida. Ainda que as firmas  $i$  e  $j$  tenham sido bem-sucedidas em seus lances inovativos ou imitativos um número equivalente de vezes, isto é, que  $\#(\Psi_i) - \#(\Psi_j) = 0$ , suas probabilidades de sucesso tecnológico no período corrente podem ser diferentes, ou seja,  $\Pr(d_{i,t}^n = 1) \neq \Pr(d_{j,t}^n = 1)$ , em que  $\#(\Psi)$  denota a cardinalidade do conjunto  $\Psi$ .

Uma formulação com tal propriedade requer que

$$\Pr(d_t^n = 1) = \varphi(g_t, \tilde{Z}_t, \theta_{t-1}) , \quad (18)$$

tal que

$$\varphi'_g > 0; \quad \varphi'_z > 0; \quad \varphi'_\theta > 0,$$

de modo que a probabilidade de obtenção de um *lance* inovativo ou imitativo seja uma função ( $\varphi: \mathfrak{R}^2 \rightarrow [0, 1]$ ), além do gasto corrente em P&D ( $g_t$ , digamos), da experiência e capacitação tecnológica acumulada ( $\tilde{Z}_{t-1}$ ), evidenciada a partir do gasto acumulado em P&D, e de alguma variável ( $\theta_t$ ) que reflita o domínio da firma ao longo da trajetória tecnológica. Tal reformulação deverá tornar o modelo mais sensível a *feedbacks* importantes, abrindo espaço para o aparecimento de novas fontes dinâmicas de assimetrias entre as firmas e para uma realimentação mais forte do processo de busca tecnológica.

A princípio, poder-se-ia pensar que a influência dos resultados<sup>34</sup> anteriores das estratégias tecnológicas da firma nos resultados correntes impõe um viés intertemporalmente irreversível nos potenciais resultados das firmas tecnologicamente bem-sucedidas (inicialmente), donde os resultados observáveis nos períodos subseqüentes seriam apenas *mais do mesmo*. Assim, antes de retomamos as limitações do modelo Nelson-Winter, vale a pena fazer quatro observações que invalidam essa possível implicação.

Em primeiro lugar, que a *irreversibilidade* da vantagem inicial obtida é possível, mas depende em grande medida das parametrizações (da importância desse efeito no sucesso da busca inovativa das firmas) que serão utilizadas nos exercícios de simulações.

Em segundo, que a introdução de efeitos dos *spillovers* de P&D funcionará como um elemento (parcialmente) compensatório das desvantagens que o efeito da cumulatividade pode ter sobre as firmas menos eficientes em seus gastos em P&D. E, em terceiro, e talvez mais importante, deve-se notar ainda que as vantagens associadas aos resultados de P&D obtidos no passado se diluem ao longo do tempo, isto é, o simples transcurso do tempo produz uma deterioração na influência sobre o presente que os resultados das estratégias tecnológicas no passado têm, tanto mais intensos quanto mais distante temporalmente do período corrente estão os resultados. É como se supuséssemos que a *memória tecnológica* da firma sofresse algum tipo de interferência na evocação do conhecimento mais antigo como resultado de um “efeito deslocamento” (*crowding-out*) que as novas informações e tecnologias têm sobre as mais antigas.<sup>35</sup> Na verdade, trata-se mesmo de admitir que os sucessos tecnológicos que a firma vai obtendo ao longo de sua trajetória operacional, na medida em que apontam para um novo posicionamento dela em sua trajetória tecnológica, modificam a importância relativa que os resultados dos sucessos anteriores possuem para o sucesso das estratégias correntes.

Em terceiro, o modelo não incorpora nenhum tipo de externalidades associado à atividade de P&D, seja para se apropriar dos possíveis aperfeiçoamentos técnico-produtivos da tecnologia realizados pela firma que detém a melhor técnica do setor, seja para captar o tipo de *spillover* que, como é comum [Cohen e Levinthal (1989); Griliches (1992)], beneficia o conhecimento tecnológico da firma e, por extensão, os resultados de seu esforço de P&D.

Em quarto, e sem dúvida mais importante – e mais complexo também –, são as reformulações ligadas à especificação do que Nelson e Winter chamam de “regimes tecnológicos” e que determinam o ritmo de mudança técnica na indústria.

No regime *cumulativo*<sup>36</sup> (Nelson e Winter, 1982, Cap. 13), em vez de uma distribuição de produtividades, a firma acessa uma distribuição de taxas de crescimento que irão incidir sobre o seu nível de produtividade prevalecente. Vale notar que, segundo os autores, no regime cumulativo “não há determinação exógena das possibilidades tecnológicas”. Mas, como crer que não há qualquer determinação exógena se tais resultados são crucialmente, e *apenas*, determinados pelo formato funcional e pela forma como são escolhidos os principais parâmetros da distribuição de probabilidades?

Já no regime *science based* (*ibidem*, Cap.12), como foi visto anteriormente, a produtividade que as firmas inovativas podem alcançar, caso obtenham um sucesso inovativo (a produtividade latente), cresce, em média, a cada período a uma taxa exógena – o que representaria, na verdade, uma metáfora para os desenvolvimentos técnico-científicos ligados à base de conhecimento relevante para o setor, justificando o crescimento das “oportunidades tecnológicas”. Como observam os próprios Nelson e Winter (1982, p. 293): “the driving force of technological advance in the industry is growth of latent productivity, which is occurring as a result of forces exogenous to the actions of the firms in the industry”.

Mesmo aceitando-se a justificativa de que isso é uma decorrência do tipo de regime tecnológico – *science-based* [cf. Nelson e Winter (1982, Cap. 12 e 13)] – da indústria, que condiciona as relações existentes entre a atividade de P&D e o crescimento da produtividade, resta ainda um problema. Ao considerar que a fronteira de produtividade da firma (com sucesso inovativo) se desloca seguindo os *picos* da produtividade *latente* (a fronteira tecnológica), sem que existam fases intermediárias – ou um tipo de ciclo no processo de exploração de oportunidades tecnológicas – que revelem o processo de *transição tecnológica* entre o nível de produtividade prevalecente da firma e aquele nocionalmente disponível pelas oportunidades tecnológicas que o progresso científico engendrou, o modelo elimina o processo de exploração das oportunidades tecnológicas. A decorrência lógica é a transmissão da exogeneidade da fronteira da indústria (nocional) para a própria trajetória tecnológica da firma, contrariando claramente seu caráter *firm-specific*.

Assim, parece crucial, para uma teoria que pretende colocar a mudança tecnológica no núcleo do processo de mudança estrutural, que os modelos que procuram representá-la tratem o progresso técnico como um processo endógeno, o que implica que o ritmo de exploração de uma trajetória tecnológica – um conjunto finito de produtividades potenciais – tenha alguma relação com o nível de capacitação tecnológica das firmas na indústria.

Uma reformulação desse aspecto deve realizar uma especificação funcional da distribuição de probabilidades – e, portanto, do ritmo de crescimento da produtividade latente – que incorpore o fato de que a exploração, por parte das firmas, de um potencial tecnológico, longe de ser linear, exhibe fases distintas [Dosi (1984) e Sahal (1981)] que refletem diferentes efeitos da atividade de P&D da firma ao

longo do tempo sobre os incrementos de produtividade. Adicionalmente, a capacidade da firma em absorver conhecimento e oportunidades tecnológicas externas à firma – mas não só, já que há outras fontes de conhecimento tecnológico<sup>37</sup> – deve depender de seus próprios esforços de capacitação tecnológica (gastos em P&D) já empreendidos no passado, exibindo assim sua natureza cumulativa. Tais reformulações pretendem, recolhendo sugestões do próprio Winter:<sup>38</sup> superar a dicotomia classificatória dos regimes tecnológicos – *science-based* ou cumulativo – presentes nos modelos de dinâmica industrial do tipo Nelson e Winter, ambos tratando o ritmo de crescimento da produtividade latente como exógeno.

## 2.2. Ampliando o escopo do modelo Nelson-Winter e as limitações herdadas

### 2.2.1. Estratégias tecnológicas e conduta adaptativa: o modelo Winter

Uma das principais contribuições da extensão do modelo NW, proposta por Winter (1984) – além de incorporar ao modelo a entrada de novas firmas e permitir a análise de diferentes regimes tecnológicos (fontes de inovação) –, foi a introdução de uma espécie de “aprendizado comportamental” por meio de mecanismos que, a depender do desempenho competitivo, modificam as estratégias de busca tecnológica das firmas. Uma outra limitação do modelo NW, além daquelas já observadas, era a total rigidez da política tecnológica das firmas, que sempre investiam em P&D uma fração fixa de seu estoque de capital. É possível argumentar, em defesa desse procedimento, que a rigidez da estratégia de investimento em P&D é uma prática defensiva motivada pela incerteza dos resultados da atividade inovativa e refletiria mesmo a *inércia* das rotinas organizacionais. O problema é que a ausência de um mecanismo de adaptação decisória que seja sensível aos resultados efetivos obtidos pelas firmas não só viola o conteúdo *processual* da racionalidade<sup>39</sup> empregada por elas, como também simplifica excessivamente o que seria uma aplicação modelística da noção de racionalidade limitada.

Na versão de Winter, os ajustes nas decisões de gasto em P&D seguem uma regra do tipo *satisficing*: se a variável que indica o desempenho da firma,  $X_{i,t}$  (uma distribuição defasada do lucro), está abaixo do nível de aspiração que ela considera satisfatório – o lucro médio da indústria ( $\bar{\Pi}_t$ ) –, a firma fará modificações marginais em suas decisões de gasto em P&D. Vale notar que os ajustamentos *estratégicos* são desencadeados apenas nesse caso.

Assim, seja o evento  $L_{\Pi(t)} = [X_{i,t} < \bar{\Pi}_t]$  (a *performance* da firma é menor que o retorno médio na indústria) e denominemos por  $\Gamma_{L_{\Pi(t)}}(.)$  uma função binária indicadora do resultado da firma no período, tal que  $\Gamma_{L_{\Pi(t)}}(w_t) = 1$  se  $w_t \in L_{\Pi(t)}$  e  $\Gamma_{L_{\Pi(t)}}(w_t) = 0$  se  $w_t \in L_{\Pi(t)}^c$ , em que  $w$  representa o resultado da variável *performance* no período  $t$ . Definidos os valores iniciais que indicam as estratégias de P&D das firmas e seu estoque de capital, ficam também determinados os valores médios da indústria (ponderados pelo peso relativo do estoque de capital de cada

firma) no tocante às estratégias de P&D por unidade de capital ( $\bar{r}_t^n$  e  $\bar{r}_t^m$ ). A revisão das estratégias de cada firma é feita segundo as seguintes regras:

$$(r_{i,t+1}^n = \{(1 - \Gamma_{L_{\Pi}} b)r_{i,t}^n\} + \{\Gamma_{L_{\Pi}} b\}\bar{r}_t^n + \Gamma_{L_{\Pi}} u_{i,t}^n), \quad (19)$$

em que  $u_{it}^n \sim N(0, \sigma^n)$  para o P&D inovativo e, semelhantemente,

$$r_{i,t+1}^m = \{(1 - \Gamma_{L_{\Pi}} b)r_{i,t}^m\} + \{\Gamma_{L_{\Pi}} b\}\bar{r}_t^m + \Gamma_{L_{\Pi}} u_{i,t}^m \quad (20)$$

para o P&D imitativo, em que  $b(0 \leq b \leq 1)$  é um parâmetro que indica quanto da regra média será copiada e  $u_{i,t}^m$  é uma variável aleatória i.i.d. Ambas as regras indicam que, se a *performance* da firma  $X_{i,t}$  estiver abaixo de seu nível de aspiração, isto é, se  $\Gamma_{L_{\Pi}}(w) = 1$ , a firma ajusta sua política de gasto em P&D em direção aos valores médios da indústria; caso contrário, repete no período seguinte a mesma estratégia utilizada no período anterior.

Conquanto o mecanismo utilizado resolva o problema da rigidez da política de P&D das firmas no modelo NW – e a implicação (i)lógica daí derivada, de que o desempenho (insatisfatório) da firma não produz uma revisão das estratégias das firmas percebidas como mais diretamente ligadas ao seu desempenho competitivo –, o modelo ainda incorpora as mesmas especificações do processo de busca tecnológica do modelo NW e, por extensão, possui as mesmas limitações e problemas internos. Ademais, a regra de adaptação da política de P&D proposta não deixa de ser uma regra conservadora, já que apenas um mau desempenho é considerado um estímulo apropriado (*triggering effects*) para acionar um procedimento automático de revisão estratégica. É razoável que a regra produza ajustamentos mesmo quando o desempenho da firma está acima do *nível de aspiração*, como forma de incorporar uma certa *agressividade* estratégica sua na exploração de suas próprias vantagens competitivas, sinalizadas por algum indicador de desempenho (e.g., a taxa de crescimento de sua participação de mercado).

### 2.2.2. *Aprendizado e difusão tecnológica: o modelo Silverberg-Dosi-Orsenigo*

Diferentemente das questões tratadas no modelo NW e mesmo em sua versão modificada, o modelo Silverberg-Dosi-Orsenigo (doravante SDO) procura investigar os aspectos decisórios envolvidos no processo de difusão de novas tecnologias e a relação que a distribuição temporal das decisões de adoção de nova tecnologia pelas firmas tem com a posição competitiva (intertemporal) assumida e com o próprio ritmo de sua difusão na indústria. E tudo isso em um ambiente evolucionário caracterizado por diversidade tecnológica e estratégica, incerteza forte (presente no processo de mudança técnica), aprendizado e desequilíbrio dinâmico.<sup>40</sup>

Há pelo menos quatro aspectos das especificações analíticas do modelo SDO que se destacam, seja porque superaram limitações de especificações no modelo

NW, seja porque exerceram ampla influência sobre os modelos evolucionários de dinâmica industrial posteriores, a saber:

1) o processo de formação de preços – agora mais próximo da tradição teórica que se baseia no *princípio do custo total* [cf. Hall e Hitch (1939)];

2) a utilização de um mecanismo de seleção que torna mais claro como o incremento da competitividade se traduz em crescimento da firma dentro da indústria;

3) a utilização de uma estrutura de *safras* na composição do estoque de capital;<sup>41</sup> e

4) a introdução de mecanismos de aprendizado (e suas externalidades) que influenciam a eficiência produtiva da firma e as próprias decisões de mudança técnica.

Vejamos mais de perto tais aspectos. A indústria possui uma demanda ( $D^T$ ) que cresce a uma taxa exponencial distribuída entre as firmas conforme o *market share* que cada uma detém. Denotando por  $f_i$  a parcela da demanda atendida pela firma  $i$ , por  $E_i$  sua competitividade e por  $\bar{E}$  a competitividade média da indústria, tem-se que

$$\frac{\partial f_i}{\partial t} = \xi_1 (E_i - \bar{E}) f_i ; f_i \in (0, 1] \quad (21)$$

tal que  $\bar{E} = \left( \sum_{i=1}^n f_i E_i \right)$ , uma equação do tipo *replicator* que faz uma representação estilizada do processo de seleção, em que a *aptidão* da firma na competição de mercado é dada por um indicador de sua competitividade ( $E_i$ ), representado por uma combinação linear do logaritmo do preço e do indicador de atraso de entrega,

$$E_i = -(\ln p_i + \xi_2 \ln dd_i) \quad (22)$$

em que  $dd_i = \frac{L}{y}$  é a razão entre os pedidos acumulados ( $L$ ) e a produção corrente ( $y$ ).

A mudança de preços no modelo, uma vez estabelecido preço e custo iniciais, segue uma regra dinâmica de ajustamento que combina, de um lado, a influência de seu planejamento estratégico, presente na aplicação de um *markup* sobre o custo<sup>42</sup> – uma representação do princípio do custo total –, e, de outro, a influência da posição competitiva da firma no setor, tal que

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \xi_3 (p_{ci} - p_i) + \xi_4 (E_i - \bar{E}), \quad (23)$$

o que seria um compromisso entre o preço estratégico da firma ( $p_{ci}$ ) e o preço prevalente no mercado, preço esse refletido em sua competitividade relativa ( $E_i - \bar{E}$ )

Outros dois aspectos singulares do modelo, *vis-à-vis* o modelo NW – e a versão em Winter (1984) –, são a natureza do processo de mudança tecnológica e a introdução de mecanismos de aprendizado que influenciam a eficiência da



firma na utilização de certa tecnologia. As firmas não realizam gastos em P&D para – como um resultado estocástico – acessar níveis de produtividade relativamente superiores, que, como naqueles modelos, são assimilados por todo o estoque de capital da firma: o progresso técnico é do tipo incorporado, introduzido através da aquisição de máquinas e equipamentos que pertencem a diferentes *safras* de uma mesma trajetória tecnológica ou de trajetórias tecnológicas diferentes [cf. Malerba e Orsenigo (1993)]. Assim, o estoque de capital da firma  $i$  ( $K_{i,t}$ ) é uma medida agregada da capacidade produtiva que pode ser obtida com as diferentes *safras* de máquinas e equipamentos entre o período corrente  $t$  e sua data de *sucateamento*<sup>43</sup> ( $T_i$ ):

$$K_{i,t} = \int_t^{T_i} K_i(t, t') dt' \text{ tal que } K_i(t, t') = \begin{cases} I_i(t') & \text{se } t < t' < T_i, \\ 0 & \text{c.c.} \end{cases} \quad (24)$$

em que  $I_i(t')$  é o investimento bruto em  $t'$ .

O modelo considera que há duas tecnologias (I e II), a cada qual está associada uma trajetória tecnológica que indica a produtividade máxima potencial que pode ser obtida pelos equipamentos de cada *safra*. Os produtores sabem que a tecnologia II é potencialmente mais produtiva<sup>44</sup> (100%), mas a efetiva obtenção desses ganhos potenciais depende dos níveis de habilidade e experiência (*skills*) específicos à firma ( $s_i$ ) na exploração da tecnologia. Ao migrarem para uma nova tecnologia, a produtividade que a firma utiliza efetivamente é apenas um percentual ( $0 < s_i \leq 1$ ) da produtividade *inata* do novo equipamento.<sup>45</sup> Essa é a razão pela qual as decisões de investimento em uma tecnologia encerram elementos expectacionais envolvidos em incerteza, seja quanto ao grau de apropriabilidade dos ganhos obtidos, seja quanto aos níveis alcançáveis de eficiência na utilização de uma nova tecnologia apenas potencialmente superior. E é aqui onde entra a influência do aprendizado.

É o aprofundamento da “fase de exploração” de certa tecnologia que permite à firma extrair todo o seu potencial produtivo. À medida que cresce a produção acumulada ( $CP_i$ ) da firma utilizando tal tecnologia, cresce também sua eficiência na apropriação do potencial produtivo incorporado à tecnologia em questão. Assim, sendo  $P_i$  a produção corrente da firma utilizando tal tecnologia (II, digamos) e  $C$  uma constante proporcional ao estoque de capital, a variação no tempo da *habilidade* da firma na utilização de tal técnica é dada por

$$\frac{ds_i}{dt} = \xi_5 \left( \frac{P_i}{CP_i + C} \right) s_i (1 - s_i) \text{ se } s_i > s_p. \quad (25)$$

Mas esse processo de aprendizado interno gera externalidades positivas para as firmas concorrentes, mesmo que no momento não estejam utilizando tal tecnologia (retomaremos esse ponto adiante). Isso porque os ganhos de eficiência que a firma adquire à medida que explora sua “curva de aprendizado” também aumentam (com alguma defasagem) o conhecimento de domínio público,<sup>46</sup> *public skills* ( $s_p$ ), na utilização dessa tecnologia:



$$\frac{ds_p}{dt} = \xi_6 \left\{ \left( \sum_{i=1}^n f_i s_i \right) - s_p \right\} \quad (26)$$

Assim, o período *ótimo* de adoção de uma tecnologia superior difere entre as firmas porque elas ponderam distintamente dois elementos expectacionais dessa decisão. De um lado, o custo que a firma incorrerá para alcançar os níveis máximos de eficiência produtiva da tecnologia II – os gastos associados à aquisição de experiência e aperfeiçoamento tecnológico –, que são tanto maiores quanto mais rapidamente o produtor decidir adotá-la. De outro, as vantagens competitivas que o pioneirismo na utilização de uma inovação pode render (e.g., aumento da participação de mercado), o que pressionaria a firma a acelerar uma *conversão* tecnológica de seu estoque de capital. Assim, as estratégias escolhidas acabam por depender, em grande medida, do grau de apropriabilidade dos ganhos de produtividade na utilização da nova tecnologia, ou seja, dos níveis de *spillover* da experiência e do conhecimento tecnológico da firma para suas rivais.

#### 2.2.2.1. O problema do beneficiamento simétrico e da apropriabilidade dos ganhos de aprendizado

Em que pese o pioneirismo do modelo na tentativa de dar uma contrapartida analítica para a influência dos mecanismos de aprendizado (e suas externalidades) sobre as escolhas tecnológicas da firma,<sup>47</sup> há dois aspectos problemáticos no modelo, ambos ligados à apropriabilidade e difusão das externalidades (*spillovers*).

Em primeiro lugar, como as assimetrias tecnológicas condicionam o grau de eficiência da firma na internalização do nível *público* de habilidade na utilização de certa tecnologia, não faz sentido que as firmas se beneficiem igualmente das externalidades de aprendizado. O argumento é simples: se a capacidade de absorção de externalidades envolvendo oportunidades inovativas (radicais ou incrementais) depende da capacitação prévia, da estrutura de P&D (como fonte formal de aprendizado) e dos níveis de educação formal de recursos humanos de que a firma dispõe, é razoável que os benefícios apropriados a partir do aprendizado das demais firmas, quer por via da atividade de P&D, quer por meio da atividade produtiva, sejam específicos a cada firma e, como decorrência lógica das capacitações heterogêneas, distribuídos assimetricamente.

Em segundo, é questionável que os incrementos de produtividade associados ao fenômeno da aprendizagem<sup>48</sup> no manuseio e operação de certo equipamento ou tecnologia (na verdade, um fenômeno de aprimoramento cognitivo e mecânico decorrente da repetição) possam *vazar* (*leak out*) por meio de publicações, instruções operacionais ou mesmo por mobilidade, entre firmas, de mão-de-obra especializada [Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988, p.1.041)], que, em tese, transferiria consigo sua experiência.<sup>49</sup> Não que esses não sejam instrumentos comuns de propagação de conhecimento técnico e científico. O problema aqui estaria nos supostos benefícios

que uma firma (que ainda não está operando com certa tecnologia) faria do aprendizado por experiência (*learning by doing*) oriundo das firmas *rivais*, cuja capacidade produtiva já opera, pelo menos em parte, com tal tecnologia, já que, por definição, tais benefícios são resultantes da intensidade e duração de uma atividade específica.<sup>50</sup>

O que se sustenta, em oposição à formulação dos autores, é que os ganhos de produtividade resultantes do aprendizado do tipo *by doing* são completamente apropriáveis pelas firmas. Para tanto, basta reconhecer que a natureza dos ganhos de produtividade associados ao aprendizado do tipo *by doing* – produto da eficiência e agilidade com que a firma opera seu processo produtivo e crescentes à proporção que a firma faz “mais do que já está fazendo” – torna impraticável e, até por definição, inconsistente a apropriação, mesmo que parcial, desses benefícios por firmas que *não operam* tal tecnologia.

Nesse sentido, *curvas de aprendizagem* (ou *learning by doing*) são fenômenos da rotinização de tarefas dentro do processo produtivo sob uma certa configuração organizacional e técnica. Isto é, são efeitos da prática e, embora seu resultado seja o aumento da produção por unidade de tempo ou homem-hora, é de natureza distinta (porque é *quase* involuntário) do aperfeiçoamento técnico das máquinas e equipamentos, que requer esforço intencional e conhecimento especializado e envolve tarefas complexas, não necessariamente conhecidas e, muito menos, rotinizáveis.

### **2.2.3. Mudança de paradigma tecnológico e dinâmica micromacroeconômica: o modelo Chiaromonte-Dosi**

Em Chiaromonte e Dosi (1993), os autores utilizam uma estrutura bissetorial para analisar as implicações macroeconômicas intertemporais – particularmente, sobre renda e produtividade médias – provocadas pelos ajustes intersetoriais de preço e demanda induzidos pelos processos de geração ou difusão de inovações. A vantagem em relação aos modelos unissetoriais é óbvia: permite não só uma idéia mais clara de como eventos no nível micro podem, pelos impulsos cumulativos que provocam, influenciar resultados no nível macro, mas também uma representação mais clara dos processos de geração e difusão de inovações.

O modelo é explicitamente uma tentativa de integração de elementos do modelo NW – cuja influência direta fica restrita à formalização do processo inovativo – com o modelo SDO, mas o resultado analítico, em pelo menos dois aspectos, supera ou desenvolve esses dois. Em primeiro lugar, na formalização do processo de mudança tecnológica, porque fornece uma contrapartida analítica que permite compatibilizar a exploração progressiva de trajetórias tecnológicas e a ocorrência de mudanças de paradigmas tecnológicos [ver Dosi (1984 e 1988)]. Em segundo, porque o modelo possui uma importante característica keynesiana ausente nos modelos anteriores:<sup>51</sup> a idéia de que são as decisões de produção e de investimento, condicionadas pelas expectativas acerca da demanda, que determinam o nível de emprego agregado da economia (ou do setor).

Entre ambos os aspectos, interessa detalhar o primeiro para analisar em que medida a formalização do processo de busca tecnológica reproduz limitações do modelo NW.

### 2.2.3.1. *Inovação incremental e radical: a mudança de paradigma tecnológico*

A fonte de progresso técnico no modelo é a inovação, cuja geração é restrita às firmas do setor 1 (produtor de máquinas e equipamentos heterogêneos). A atividade inovativa é descrita como um processo probabilístico *à la* Nelson-Winter, com a diferença de que a busca inovativa ocorre em um espaço bidimensional, já que as firmas no setor 1 inovam para desenvolver novos tipos de máquinas mais eficientes para o setor 2 (incremental) e para encontrar técnicas mais eficientes de produzir tais máquinas (radical). As oportunidades de inovação das firmas do setor 2 (produtor de bens de consumo homogêneos)<sup>52</sup> são do tipo incorporada: reduzem-se à aquisição das máquinas, produzidas pelo setor 1, que possuem maior capacidade produtiva por unidade de trabalho.

As máquinas produzidas ( $x$ ) possuem duas propriedades técnicas: a produtividade por unidade de trabalho da técnica utilizada na produção de bens finais,  $A_1$ , e a produtividade por unidade de trabalho da técnica utilizada para produzir máquinas,  $A_2$ ; ou seja,

$$x = (A_1, A_2); x \in \mathfrak{R}_+^2, \quad (27)$$

o que permite uma distinção, ainda que simplificada, entre mudanças ao longo de uma trajetória tecnológica (dentro de um certo paradigma) e mudanças do próprio paradigma: a primeira, para um dado  $A_2 = \bar{a}_2 (\bar{a}_2 \in N)$ , seria representada por incrementos em  $A_1$ ; a segunda, por envolver modificações substanciais na organização produtiva e na competência tecnológica da firma, seria representada por mudanças em  $A_1$  e  $A_2$ .

As *oportunidades nocionais* são representadas por um conjunto  $T(\cdot)$  de potenciais paradigmas tecnológicos – na verdade, uma coleção de valores para  $A_2$  –, além dos já utilizados, que podem ser descobertos pelas firmas do setor 1. A ampliação desse conjunto de oportunidades é representado por um processo estocástico de dois estágios que depende do crescimento da renda ( $Y_m$ )<sup>53</sup> e de um parâmetro  $r$ :<sup>54</sup>

$$\Pr(AT(t) = 1) = p = 1 - \exp(-r.Y_m(t)), \quad (28)$$

em que  $AT \sim B(1, p)$  – ou seja,  $AT$  é uma V.A. com distribuição de Bernoulli que representa o evento acessar ( $AT(\cdot) = 1$ ), ou não ( $AT(\cdot) = 0$ ), a criação de um novo *paradigma* em um dado período, com parâmetro de sucesso  $p$ . O sucesso nesse primeiro estágio resulta na adição de uma nova *tipologia* (um valor para  $A_2$ ) ao

conjunto  $T$  – uma variável aleatória com distribuição uniforme no intervalo discreto limitado inferiormente por  $m$  e superiormente por  $n$ . Assim, se  $AT(t) = 1$ , então

$$T(t) - T(t-1) = A_2; \quad A_2 \sim U[m, n], \quad (29)$$

tal que  $m = A_2^*(t-1)$  e  $n = (1+h)A_2^*(t-1)$ ,<sup>55</sup> em que  $A_2^* = \max(T(t-1))$ .

As firmas exploram esse conjunto de oportunidades tecnológicas por meio de seu investimento em P&D inovativo.<sup>56</sup> Aqui, a inspiração no trabalho de Nelson-Winter (1982, Cap. 12) é evidente. A possibilidade de, em um momento  $t$ , gerar-se uma máquina ( $x_i^g$ ) cuja técnica incorporada pertença a um novo paradigma tecnológico também obedece a um processo estocástico de dois estágios, estando o acesso ao segundo estágio condicionado ao sucesso no primeiro ( $AG_i(t) = 1$ ), em que

$$\Pr(AG_i(t) = 1) = 1 - \exp(-r_g \cdot I_i^g(t)).^{57} \quad (30)$$

Assim, se a firma obtiver um sucesso nesse estágio, poderá, então, processar máquinas cujas propriedades técnicas – os valores de  $A_1$  e  $A_2$  – são resultados aleatórios obtidos de uma distribuição de probabilidades uniforme, com suporte definido pelo conjunto de pontos ( $x_i^g = (A_1, A_2)$ ) que possui a segunda coordenada

$$A_{2i}^g(t) = \max(T(t) \cap [A_2(x_i(t)), A_2(x_i(t)) + \lambda \cdot \theta_i(t)]) \quad (31)$$

e a primeira coordenada, extraída do ponto máximo, definido em

$$[\max(0, A_1(x_i(t)) - a, A_1(x_i(t)) + a)] \quad (32)$$

em que  $a = (1/\lambda) \cdot (A_{2i}^g(x_i(t)) / A_1(x_i(t)))$ .

Note-se que  $\theta_i(t) = \frac{A_1(x_i(t))}{A_2(x_i(t))}$  indica o grau de esgotamento – para uma certa

máquina  $x_i$  com valor fixo de  $A_2$  – da trajetória tecnológica (do *paradigma*) à qual a máquina pertence e  $\lambda$  é um parâmetro que regula a produtividade máxima *potencial* da máquina para produzir bens finais, resultante da inovação incremental. Essa operacionalização do processo inovativo possui duas implicações importantes. A primeira é que as trajetórias percorridas pelas firmas do setor 1 são condicionadas por um elemento específico à firma – seu esforço de P&D – e um elemento *sistêmico* – o ritmo de crescimento da economia, que amplia o conjunto de “oportunidades nocionais” (valores de  $A_2$ ). A segunda implicação diz respeito ao fato de que ocorre uma expansão proporcional no conjunto de técnicas que representam outros *paradigmas* tecnológicos, à medida que a firma faz avanços ao longo de uma trajetória (maiores valores de  $A_1$ ).

Quanto aos resultados alcançáveis pelas firmas que fazem P&D imitativo, a formulação é semelhante àquela presente no modelo NW, com a diferença<sup>58</sup> de que

o sucesso imitativo (primeiro estágio) não garante à firma acessar, automaticamente, a melhor técnica disponível na indústria: é introduzido um novo estágio (estocástico) que condiciona o resultado – a máquina a ser copiada,  $z_k$ , digamos – a dois aspectos, quais sejam: (1) a uma medida de *distanciamento* tecnológico entre a técnica que a firma domina ( $x_i$ ) e aquelas que pertencem ao conjunto  $Z_i(t)$  de técnicas potencialmente copiáveis,<sup>59</sup> ( $D(z_k, x_i) \forall k = 1, \dots, m$  tal que  $m = \# Z_i(t)$ ), e (2) ao grau de difusão entre os produtores do setor 1 dessas técnicas, expresso pelo percentual de produtores que, no momento  $t$ , conhecem as máquinas que pertencem a tal conjunto ( $\gamma(z_k, t)$ ). Se a busca imitativa for bem-sucedida, a máquina copiada que será incorporada ( $x_i^m$ ) é definida como uma variável aleatória com uma medida de probabilidade dada por

$$\Pr(x_i^m(t) = z_k) = f(D(z_k, x_i), \gamma(z_k, t)), \text{ tal que} \quad (33)$$

$$\frac{\partial \Pr(x_i^m(.) = z_k)}{\partial D} < 0 \text{ e } \frac{\partial \Pr(x_i^m(.) = z_k)}{\partial \gamma} > 0$$

Essa formalização pretende traduzir a idéia – com uma fundamentação mais lógica do que empírica – de que é mais fácil copiar as máquinas que possuem maior proximidade *tecnológica* com as técnicas já conhecidas pela firma.

#### 2.2.3.2. Limitações e problemas internos ao modelo Chiaromonte-Dosi

As limitações do modelo Chiaromonte-Dosi derivam essencialmente de uma especificação analítica que ignora características importantes do comportamento competitivo das firmas ou do processo inovativo. Resumidamente:

1) há rigidez nas estratégias tecnológicas das firmas – os parâmetros que definem os gastos em cada tipo de P&D –, o que implica uma irrealista ausência de retroalimentação entre o desempenho (lucrativo ou participativo no mercado) da firma e suas principais decisões de investimentos em P&D, característica claramente *herdada* do modelo NW;

2) o modelo deixa de explorar os efeitos dinâmicos sobre o desempenho da renda agregada, e mesmo sobre o mercado de trabalho, de padrões de crescimento permanentemente diferentes entre os setores – ou mesmo de explicitar os efeitos de uma inovação com viés *poupador* de trabalho sobre a demanda de bens de consumo;<sup>60</sup> e

3) a capacidade inovativa da firma a cada período, expressa pela probabilidade de acessar um conjunto de máquinas que pertencem a outro paradigma tecnológico (potencialmente superior), não exhibe qualquer tipo de cumulatividade [equação (30)], além do que está em flagrante oposição com indicações presentes em outros textos de um dos autores [cf., por exemplo, Dosi (1984 e 1988)]: ao eliminar a influência dos gastos realizados em P&D ou mesmo de outra medida de desempenho histórico que sirva como *proxy* da eficiência com que a firma historicamente utiliza tais recursos, a formulação fica logicamente fragilizada, já que per-

mite a equalização de firmas que possuem diferentes níveis de *competência* tecnológica.<sup>61</sup>

#### 2.2.4. *Demanda efetiva e ajustamento intertemporal de markup: o modelo Possas-Koblitz*

O principal propósito do modelo Possas-Koblitz<sup>62</sup> (doravante PK) é fundir características de dois de seus antecedentes diretos: o tratamento do processo de mudança tecnológica presente no modelo NW e o efeito do aprendizado do tipo *by doing*, presente no modelo SDO, adicionando alguns elementos de inspiração kaleckiana e keynesiana.

Analiticamente, a principal contribuição do modelo PK é o aprofundamento dos mecanismos de retroalimentação nesse tipo de modelo, conferindo maior adaptabilidade da firma às condições de mercado, e a introdução de ligações entre variáveis de decisão (comportamento micro) e entre variáveis que possuem conotação macroeconômica.<sup>63</sup> Diferentemente de seus antecedentes, nesse modelo existe um mecanismo de ajustamento dinâmico do *markup* desejado da firma (logo, dos preços) que, ao permitir uma interação contínua de desempenho e estratégia, torna a formulação estratégica das firmas mais sensível ao ritmo do processo seletivo na indústria. A idéia é que a estratégia de preço permita à firma explorar oportunidades de lucro derivadas das vantagens de custo, ao mesmo tempo que exiba adaptabilidade em razão do grau de rivalidade existente no mercado. Como indicam Possas *et al.* (2001, p. 368), “a regra, muito simples, aqui adotada para esses ajustes é igualar o *markup* desejado ( $k_i^d$ ) de cada período de investimento ao *markup* efetivo médio ( $\bar{k}_{T_t-1}$ ) do último período [de investimento]”. Formalmente, para um período de investimento de tamanho arbitrário  $m$ , teríamos então que:

$$k_{i,T_t}^d = \bar{k}_{T_t-1} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_{i,t-j} \cdot k_{i,t-j} \quad (34)$$

e

$$T_{t-k} = \{(t-k) - 1, \dots, (t-k) - m\},$$

em que  $T_t$  indica o período de investimento (composto de  $m$  períodos de produção) e  $m$  indica a duração de um período de investimento (no modelo suposto, igual a quatro períodos de produção).

Teoricamente, ele se diferencia dos modelos anteriores por incorporar referenciais teóricos (Keynes e Kalecki) praticamente ausentes – talvez pela maior vinculação que possuem com temas macroeconômicos – no conjunto de modelos evolucionários tributários do modelo Nelson-Winter. De Keynes incorpora o princípio da demanda efetiva – como desenvolvido em Possas (1983) –, ao estabelecer o modo como as decisões de produção corrente e, portanto, as decisões de gasto<sup>64</sup> (contratação de mão-de-obra, aquisição de insumos e investimento em máquinas e equipamentos) são influenciadas pela demanda prevista, calculada por meio de

uma regra extrapolativa<sup>65</sup> baseada nas encomendas efetivadas nos períodos passados mais recentes. A formação de preços segue de perto a formulação kaleckiana de preços para firmas sob condições de concorrência monopolística: o preço da firma é o resultado de uma ponderação envolvendo, de um lado, o nível de preço que satisfaz as estratégias de longo prazo da firma ( $p_{i,t}^d$ ) e, de outro, o nível de preço (médio,  $\bar{p}_t$ ) que reflete as condições competitivas vigentes. Se não, vejamos: como a dinâmica dos preços nesse modelo é descrita por

$$\frac{\Delta p_{i,t}}{p_{i,t-1}} = \theta \left( \frac{p_{i,t}^d - p_{i,t-1}}{p_{i,t-1}} \right) + (1-\theta) \left( \frac{E_{i,t-1}}{\bar{E}_{t-1}} - 1 \right); 0 \leq \theta \leq 1, \quad (35)$$

e sabendo que a razão entre a competitividade da firma e a competitividade média no setor ( $E_{i,t-1}/\bar{E}_{t-1}$ ) é idêntica (ignorando o atraso de entrega) à razão entre preço médio e preço da firma, isto é,

$$\frac{E_{i,t-1}}{\bar{E}_{t-1}} = \frac{\bar{p}_{t-1}}{p_{i,t-1}}, \quad (36)$$

é possível reescrever a equação (36) – e torná-la mais próxima à formulação de Kalecki (1985, Cap. 1) – para obter uma equação de preços que torne claro o que foi dito:<sup>66</sup>

$$p_{i,t} = \theta p_{i,t}^d + (1-\theta)\bar{p}_{t-1}, \quad (37)$$

que, dividida, em ambos os lados, pelo custo unitário  $u_{i,t}$ , resulta na equação de *markup* da firma para uma firma  $i$  qualquer:

$$k_i = \theta k_i^d + (1-\theta) \frac{\bar{p}_{t-1}}{u_{i,t}}, \quad (38)$$

que mostra como o progresso técnico, no que afeta de forma diferenciada os custos variáveis de produção e, portanto, permite diferentes estratégias de preços,<sup>67</sup> pode alterar o poder de mercado da firma, pelo reordenamento no padrão de alocação dos gastos dos agentes entre os produtos das diferentes firmas.<sup>68</sup>

#### 2.2.4.1. Busca tecnológica, expectativas de vendas e financiamento da modernização tecnológica: problemas internos e algumas reformulações

A geração de inovação e imitação no modelo PK (o módulo de busca tecnológica) segue praticamente a mesma formulação presente no modelo Nelson-Winter: o gasto em P&D que garante à firma o acesso ao segundo estágio, no qual será definido o nível de produtividade do equipamento,  $C$ , digamos, é uma variável aleatória com probabilidade definida pela seguinte função de distribuição acumulada:

$$F_G(g_i) = P(g_i \leq G) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_i > 0 \\ 1 - \exp(-\lambda g_i) & \text{se } g_i \leq 0 \end{cases} \quad (39)$$

Note-se que o sucesso das estratégias tecnológicas das firmas, inovadoras ou imitadoras, independem de seu histórico tecnológico – o gasto em P&D acumulado, assim como os sucessos (e fracassos) obtidos em sua *busca* tecnológica. Os problemas associados a esse tipo de formalização do processo de busca tecnológica já foram apresentados anteriormente, de modo que nos limitaremos agora a examinar outras limitações teóricas do modelo que não foram herdadas de seus antecessores teóricos ligadas (1) à formação de expectativas e (2) ao financiamento do investimento em modernização tecnológica.

Tanto as decisões de investimento quanto as de produção das firmas no modelo são orientadas por expectativas (de vendas) cuja formação segue a seguinte regra:

$$w_t^e = w_{t-1} + \Delta_w(1,2) \quad (40)$$

em que  $w_t$  é o valor das vendas efetivas no  $t$ -ésimo período, e

$$\Delta_w(k,p) = w_{t-k} - w_{t-p},$$

em que  $p$  e  $q$  são inteiros que indicam a ordem de defasagem de  $w$ , cuja diferença é utilizada na previsão de seu valor no período  $t$  (com a restrição de que  $0 < k \leq p$ ). Afora os questionamentos sobre a razoabilidade ou racionalidade desse tipo de expectativa, uma ordem de defasagem pequena, tal como utilizada no modelo ( $k = 1, p = 2$ ), produz um ajustamento relativamente rápido das vendas previstas (logo, das decisões de produção e investimento) em função de mudanças recentes, sem que a firma certifique-se do grau de persistência dessas mudanças. Mais do que um problema de velocidade de ajustamento, trata-se mesmo de não considerar tanto o tipo de tendência ( $y$ ) quanto de sazonalidade ( $\delta$ ) que os padrões de vendas dos últimos períodos revelam, tal que

$$w_t^e = w_{t-1} [1 + g(y, \delta)]. \quad (41)$$

Nesse caso, note-se que haveria uma mudança significativa na forma como, dada a diferença entre as vendas esperadas para o período seguinte e as vendas efetivadas no período imediatamente anterior ( $w_t^e - w_{t-1}$ ), a firma decidiria a produção programada para o período seguinte ( $q$ , digamos) – o que, em última instância, dependeria da taxa de variação das vendas,  $g(y, \delta)$ , indicada pelas informações sobre tendência e sazonalidade reveladas nas vendas registradas nos períodos anteriores.

Assim, ainda que  $\Delta_w(1,2)$ , na equação (40) – ou um  $\Delta_w(.)$  com ordem de defasagem maior<sup>69</sup> –, pudesse ser encarado como um indicador de tendência das vendas no período seguinte, não faria sentido formular previsões, por exemplo, de que  $w_t^e > w_{t-1}$  tão-somente porque  $\Delta_w(1,2) > 0$ , se o componente sazonal captado nas vendas anteriores indica que as vendas são historicamente menores naquele



trimestre. Nessa situação, em particular, seria o caso de formular previsões de vendas menores do que aquelas verificadas no período anterior, mas não tão menores, já que, em tese, foi apontada uma tendência ascendente nas vendas – implicando, como mostra o quadro a seguir, um nível de produção programada ( $q_b$ ) maior do que aquele decidido num contexto em que as informações sobre a tendência (descendente) reforçam as decisões de ajuste na produção induzidas pela previsão (a partir das sazonalidades verificadas) de que  $w_t^e < w_{t-1}$ .

SAZONALIDADE	+	$w_t^e > w_{t-1}$ $q_{it} = q_c$	$w_t^e > w_{t-1}$ $q_{it} = q_a$
	-	$w_t^e < w_{t-1}$ $q_{it} = q_d$	$w_t^e < w_{t-1}$ $q_{it} = q_b$
- TENDÊNCIA +			

em que  $q_c < q_a$  e  $q_b > q_d$ .

Não se trata, portanto, de mudar o caráter extrapolativo da regra, mas de incluir informações calibrando o efeito que as mudanças recentes nas vendas terão sobre as decisões correntes da firma – até porque é razoável que seja a partir das informações que possui e dos resultados que observou que a firma faça as estimativas de que necessita para tomar as decisões de gasto que a produção de certa quantidade envolve.

Não há razão para rejeitar um procedimento desse tipo sob a alegação de que gera inércia, que, se for o caso, não é mais do que um sinal de postura cautelosa da firma visando minimizar, nocionalmente, erros de previsão.<sup>70</sup> A *miopia* da regra, nesse caso, seria tanto menor (mas nunca nula) quanto maiores fossem os períodos transcorridos – porque permitiria *refinar* a apreensão de regularidades na demanda, sem com isso significar que as firmas assimilariam a regra de funcionamento da economia à qual pertencem (por alguma regra bayesiana) e que não mais estariam sujeitas a cometer erros de previsão, inclusive sistemáticos.<sup>71</sup>

Passemos agora ao problema da hierarquia alocativa dos recursos financeiros no modelo. Observando a regra de decisão para investimento em reposição por obsolescência tecnológica (*modernização*), e, dentro do módulo de busca tecnológica, a determinação da *fronteira* tecnológica (potencial) da  $i$ -ésima firma,<sup>72</sup> constata-se o seguinte: mesmo que a firma tenha obtido um sucesso inovativo em um certo período  $t$ , a incorporação do equipamento mais produtivo ao seu estoque de capital fica completamente condicionada à existência de recursos financeiros *depois* de realizado o investimento (bruto) desejado em capital fixo ( $I_{i,t}^{*F}$ ) – que corresponde às necessidades previstas de ampliação de capacidade,  $\Delta \bar{x}_{i,t}$ , e às aquisições para fins de reposição de equipamentos por depreciação física,  $\bar{x}_{i,t}^\delta$ , como indica a equação de determinação do investimento do modelo a seguir:

$$I_{i,t}^{*F} = p_{k,t}(\Delta \bar{x}_{i,t}^* + \bar{x}_{i,t}^\delta) \quad (42)$$

em que  $p_{k,t}$  é o preço dos bens de capital (que pertencem à  $k$ -ésima safra) adquiridos no período  $t$ .

Todavia, é razoável admitir que pelo menos parte do aumento da capacidade produtiva desejada ( $\Delta x_{i,t}^*$ ) seria atendida simplesmente com a reestruturação do estoque de capital produzida pelos investimentos em *modernização*<sup>73</sup> – o que tornaria plausível a inversão da aparente *hierarquia* existente na utilização dos recursos financeiros totais ( $F_{i,t}$ ) para investimento pela *atualização tecnológica*, que também permite a estrutura de capital da firma. Manter essa hierarquia na utilização dos recursos financeiros (ampliação de capacidade produtiva e *depois*, e somente então, modernização do maquinário) tem implicações problemáticas porque introduz inconsistências nas decisões de investimento e elementos ilógicos no modelo. Se não, vejamos: o investimento em modernização, pelo postulado no modelo, ampliaria a capacidade produtiva da firma, mas, note-se, para além do nível que, à luz de suas expectativas de demanda, acabou de julgar adequado. Decorreria, então, nesse caso, ou que a firma ignora a superioridade do potencial produtivo das novas máquinas, *vis-à-vis* as máquinas que possui (ilógico), ou que promoveu uma revisão repentina (praticamente instantânea) do nível de capacidade produtiva desejado, seja porque ocorreram mudanças igualmente bruscas e céleres nas expectativas, seja porque percebeu o cometimento de erros no dimensionamento de sua capacidade produtiva corrente (inconsistente). Essa rigidez hierárquica na alocação dos recursos financeiros é artificial e apenas empobrece uma regra que, em si, contém as determinações e os elementos mais relevantes do processo decisório de investimento (ampliação induzida e reposição por depreciação). Ora, sabendo das implicações competitivas que a atualidade tecnológica de seu estoque de capital possui, parece não menos que óbvia a provável decisão que a firma tomaria ao realizar a ampliação de capacidade produtiva, se confrontada com as possibilidades (excludentes, suponha-se) de fazê-la, seja *sem* qualquer mudança nas características tecnológicas de seu estoque de capital, seja *com* algum grau de atualização tecnológica de parte de seus equipamentos.

No caso em que os recursos financeiros totais ( $F_{i,t}$ ) não são suficientes para realizar o investimento desejado ( $I_{i,t}^{*F}$ ) e a modernização do estoque de capital ( $I_{i,t}^{*M}$ ), uma reformulação que evitaria esse problema (*a fortiori*, válida para as demais posições financeiras, desde que  $F_{i,t} \geq I_{i,t}^{*F} > 0$ )<sup>74</sup> seria a seguinte: como a substituição dos equipamentos mais antigos existentes no estoque de capital da firma irá, por si só, proporcionar algum incremento em sua produtividade (média), a firma investiria em modernização, seguindo a regra de *payback* [cf. Possas et al. (2001, p. 356)], até o montante que ainda garantisse um certo *resíduo* de recursos suficiente para realizar a ampliação da capacidade produtiva não-contemplada pelo investimento em *modernização*. Formalmente, trata-se de um problema de programação. Suponha-se que, pela regra de *payback*, o investimento desejado em *modernização* da  $i$ -ésima firma no período  $t$  seja  $I_{i,t}^{*M}$  e que  $\tau(j)$  seja a parcela percentual de ( $F_{i,t}$ ) gasta com  $j$  unidades de equipamentos que contemplem alguma parte de  $I_{i,t}^{*M}$ , tal que  $b(j)$  é a variação de capacidade produtiva da firma

proporcionada pela introdução de  $j$  unidades de maquinário mais produtivo, de modo que

$$\varepsilon(j) = b(j)/\Pi_{i,t} ; 0 \leq \varepsilon(j) \leq 1 \quad \forall j \in B,$$

em que  $\Pi_{i,t} = \Delta \bar{x}_{i,t}^* + \bar{x}_{i,t}^\delta$  e  $B \subseteq N$ . A alocação ótima dos recursos financeiros será, então, dada por

$$\max_{\Pi_{i,t}, F_{i,t}, \varepsilon(j)} \left( \tau(j) = g(\Pi_{i,t}, F_{i,t}, \varepsilon(j)) \right)$$

$$\text{sujeito a } \Pi_{i,t} - b(j) \geq 0 \text{ e } p_{k,t}(\Pi_{i,t} - b(j)) \leq (1 - \tau(j))F_{i,t},$$

em que  $g : \Re \rightarrow [0, 1]$ . Note-se que, dado o objetivo de realizar  $\Pi_{i,t}$ , será sempre vantajoso investir na aquisição de  $r$  unidades de equipamento mais moderno (logo, na realização de alguma parte positiva de  $I_{i,t}^{*M}$ ), enquanto

$$p_{k,t}(\Pi_{i,t} - b(r)) \leq (1 - \tau(r))F_{i,t},$$

de modo que, definindo  $B' = \{n \in B \mid p_{k,t}(\Pi_{i,t} - b_n) > (1 - \tau_n)F_{i,t}\}$ , a alocação ótima de recursos financeiros é  $\tau(s)$ , já que

$$s = \sup(\mathbb{C}_B B') \text{ e } \Pi_{i,t} - b(s) \geq 0.$$

### 3. Um modelo de busca tecnológica com acumulação de conhecimento e capacitações tecnológicas, *spillovers* assimétricos de P&D e trajetórias tecnológicas endógenas

---

#### 3.1. Introdução

A revisão dos modelos feita no capítulo anterior nos permitiu apontar algumas limitações do modelo Nelson-Winter que subsistiram nos modelos desenvolvidos subsequenteiramente. De um lado, as implicações da exogeneidade da taxa de crescimento das oportunidades tecnológicas sobre o padrão evolutivo da fronteira de produtividade das firmas e mesmo sobre o grau de concentração no setor. De outro, a representação formal do processo de *busca* tecnológica, cuja forma adotada não retrata (a) a influência do conhecimento e das capacitações tecnológicas acumuladas na determinação do potencial inovativo (ou imitativo) da firma no presente; (b) a dependência intertemporal dos resultados alcançáveis na atividade de busca tecnológica, isto é, a influência que o histórico tecnológico exerce sobre os resultados alcançáveis no presente (*cumulatividade tecnológica*); e (c) os benefícios oriundos da atividade de pesquisa e desenvolvimento das demais firmas no próprio setor (*spillovers intra-industriais*) e mesmo de outras fontes externas de conhecimento.<sup>75</sup>

Desse modo, procuraremos desenvolver neste capítulo um modelo de busca tecnológica (inovação e imitação) em que: (1) as firmas acumulam conhecimento cuja depreciação pode ser de natureza cognitiva ou tecnológica; (2) existem *spillovers* de P&D (assimétricos); (3) há cumulatividade tecnológica – realimentação dos processos estocásticos que definem o sucesso da busca tecnológica; e (4) há endogeneização das trajetórias tecnológicas das firmas. Com tais aspectos, o modelo pretende superar limitações de uma série de modelos evolucionários de dinâ-

mica industrial e, incorporando tais mudanças ao modelo de dinâmica industrial proposto por Possas et al. (2001) – o que será feito no próximo capítulo –, avaliar o impacto dessas mudanças no desempenho intertemporal das firmas e no próprio grau de concentração da indústria.

### 3.1.1. *Cumulatividade tecnológica*

Convém aqui fazer uma breve digressão que, embora pareça se afastar do que foi proposto, é necessária para compreender um dos principais aspectos da reformulação do processo de *busca tecnológica* a ser sugerida – em substituição ao que está presente no modelo NW e que foi incorporado pelo modelo PK.

Analiticamente, existe cumulatividade em um processo intertemporal  $\{x\}_t$ , que pode gerar resultados  $y$  ou  $z$ , quando há um processo  $p$  de intensidade maior (*path-dependent*) ou menor, que realimenta os resultados de  $\{x\}$  em  $t+i$  ( $i=1, \dots, n$ ) em direção a um dos resultados possíveis ( $y$  se  $p = p_y$  ou  $z$  se  $p = p_z$ , digamos), de modo que

$$\Pr(\{x\}_{t+1} = y \mid p = p_y) > \Pr(\{x\}_{t+1} = y \mid p = p_z) \quad (43)$$

Nos modelos de competição com inovação endógena analisados previamente – em particular, no modelo NW –, não há um mecanismo de realimentação estritamente tecnológico:<sup>76</sup> é verdade que existe nele (e nos que incorporaram sua formalização do processo de mudança técnica) uma realimentação positiva do potencial inovativo ou imitativo da firma, mas ela não é tecnológica, isto é, ela não é *diretamente* derivada do sucesso tecnológico prévio, mas sim uma realimentação repleta de mediações que a tornam, ao fim de tudo, muito mais próxima a uma espécie de *efeito tamanho*.<sup>77</sup> Nesses modelos, o investimento corrente em P&D – uma parcela da receita corrente da firma ou, no caso do modelo NW, do estoque de capital da firma – é o determinante exclusivo da probabilidade de *sucesso* tecnológico das firmas: a experiência obtida e a *eficiência*<sup>78</sup> com que a firma alocou os recursos que destinou para a atividade de P&D, ao longo de toda a sua trajetória de operação no setor, não exercem influência direta em seu desempenho tecnológico subsequente. Analiticamente, essas considerações podem ser condensadas na igualdade probabilística<sup>79</sup> a seguir (que, por simplificação, refere-se ao caso das firmas que fazem P&D inovativo), para um dado investimento corrente em P&D:

$$\begin{aligned} \Pr(d_{i,t}^n = 1 \mid d_{i,t-1}^n = 1, d_{i,t-2}^n = 1, \dots, d_{i,1}^n = 1) = \\ \Pr(d_{j,t}^n = 1 \mid d_{j,t-1}^n = 0, d_{j,t-2}^n = 0, \dots, d_{j,1}^n = 0), \end{aligned}$$

que representa, intencionalmente, um caso hipotético (que não invalida o argumento que segue, ao contrário) de uma situação entre firmas com históricos tecnológicos opostos (sucessos e, no caso da firma  $j$ , fracassos tecnológicos plenos até o período último passado,  $t-1$ ). Sob a suposição de que tanto a firma  $i$  quanto a firma  $j$  empregaram o mesmo volume de recursos em P&D no período  $t$  ( $g_{i,t}^n$ ), a

capacidade inovativa de ambas é idêntica, apesar de terem demonstrado eficiências em seu esforço tecnológico completamente distintas. *A fortiori*, a igualdade fica valendo para situações intermediárias ou mesmo opostas – mantendo-se a hipótese de que  $g_{i,t}^n = g_{j,t}^n$ .

Pretende-se, desse modo, deixar evidentes duas ordens de implicações conexas que essa formulação possui. Em primeiro lugar, o modelo que a incorpora fica enfraquecido em sua aderência ao que, não fosse um *fato estilizado* da literatura em economia industrial, parece ser um imperativo lógico da dinâmica industrial, a saber: não é apenas o que a firma investe no presente que determina seu potencial inovativo ou imitativo, mas também os investimentos que realizou, as capacitações que adquiriu no passado e a qualificação obtida, formal e informalmente, ao longo do tempo pelos recursos humanos envolvidos em sua atividade de P&D.<sup>80</sup> Os agentes (firmas<sup>81</sup>) são capazes de aprender de forma contínua e por meio de diversas fontes e mecanismos de aprendizagem, entre os quais estão, basicamente, sua própria experiência na organização e no desenvolvimento da atividade de P&D [cf. Freeman (1994, p. 470 e Seção 4)] e os *spillovers* de P&D provenientes das firmas rivais e até mesmo de fontes externas à indústria.

Em segundo, essa formulação supõe a existência de uma descontinuidade *contínua* na atividade de busca tecnológica incompatível com a natureza cumulativa [cf. Dosi (1988, especialmente as Seções 2 e 3) e Possas (1989a, p. 170)<sup>82</sup>] da atividade de P&D, já que os resultados alcançáveis pelo esforço tecnológico da firma em cada período se esgotam nesse período mesmo, não afetando,<sup>83</sup> de *per se*, os resultados que podem ser obtidos no futuro próximo, que dependem da realização de um novo esforço de P&D.

## 3.2. O modelo de busca tecnológica

### 3.2.1. Considerações preliminares

O modelo apresentado a seguir pode ser visto como uma série de especificações analíticas que buscam representar o processo de mudança técnica (seja por meio de inovação, seja por imitação) em um setor industrial que está ligado ao acúmulo de conhecimento e capacitações tecnológicas baseado, essencialmente, nos esforços de P&D da firma. Mas, em que pese tratar-se de um dos principais *módulos* dos modelos evolucionários, refere-se apenas à parte do conjunto de decisões e aspectos da dinâmica das firmas, não possuindo “autonomia analítica” sem que seja coligado a outros elementos do processo competitivo (formação de preços, produção etc.), já que o esforço de P&D da firma depende de outras variáveis (receita de vendas, preço etc.) determinadas no âmbito das decisões de produção e pelas próprias condições iniciais de demanda do mercado. Nesse sentido, o modelo proposto pode ser integrado a qualquer um dos modelos evolucionários que seguem a estrutura do processo de busca tecnológica do modelo Nelson-Winter, o que não só é possível, pela generalidade com que é formulado, mas também necessário para que suas implicações sejam derivadas.

### 3.2.2. Estrutura do modelo: um overview

A descrição do modelo proposto passa, essencialmente, por três etapas:

- 1) a definição dos elementos que conformam o *estoque* ou a *base de conhecimento* das firmas, aí introduzindo, como proposto, os *spillovers* de P&D;
- 2) a reformulação do processo probabilístico que indica o sucesso ou fracasso das estratégias tecnológicas da firma, introduzindo o efeito que o histórico tecnológico da firma pode ter sobre o resultado das estratégias no período corrente; e
- 3) a reformulação do processo de mudança técnica das firmas bem-sucedidas em suas estratégias (inovação ou imitação) em direção à fronteira tecnológica, tornando-o endógeno, já que seus resultados dependeriam do conhecimento tecnológico que a firma possui e seguirão uma trajetória tecnológica que apresenta fases distintas (mas que podem ser percorridas a diferentes velocidades), fazendo com que o processo de mudança técnica, portanto, seja mais geral do que o caso exógeno, prevalente no modelo Nelson-Winter.

A fim de que fique claro como tais elementos são articulados e em que sentido resolverão as limitações apontadas do modelo Nelson-Winter, convém fazer alusão, com um pouco mais de detalhe, aos aspectos mais importantes de cada uma dessas etapas.

Quanto à primeira etapa, a *base de conhecimento* explorável que cada firma detém representa uma articulação intertemporal, de um lado, do conhecimento que deriva de seu próprio esforço tecnológico, traduzido em seu gasto em P&D, e, de outro, dos *spillovers* de P&D (intra-industriais e aquele levado a cabo por instituições públicas de pesquisa) que foram efetivamente apropriados, o que depende da capacidade de absorção detida. Contudo, a incidência de um processo intertemporal de *depreciação* sobre o estoque de conhecimento da firma impede que todo o conhecimento e toda a capacitação tecnológica acumulados pelas firmas sejam exploráveis a cada período.

A idéia de depreciação da base de conhecimento utilizada pela firma está presente em alguns modelos de dinâmica industrial [cf. Silverberg e Verspagen (1994) e Llerena e Oltra (2000)], mas claramente como uma analogia com o tipo de depreciação que opera sobre ativos produtivos e que diz respeito ao desgaste físico, que está associado à intensidade em sua utilização – o que é analiticamente distinto do processo de *depreciação* do conhecimento tecnológico proposto aqui, não só porque sua taxa é intertemporalmente variável, mas também porque a cada tipo de conhecimento envolvido (tácito ou codificado) caberá um tipo específico de *depreciação*.

Há duas razões para rejeitar esse tipo de formulação simplificada. Em primeiro lugar, porque a deterioração de parte do conhecimento acumulado não poderia estar associada à intensidade com que esse conhecimento é usado, já que ele não é exaurível à medida que é utilizado, mas sim com algum grau de interferência (ainda que dentro de um mesmo *paradigma tecnológico*) que o acúmulo de novos conhecimentos e competências, e até mesmo o fracasso de suas estratégias

tecnológicas, pode provocar na utilização de *módulos* (ou *partes*) da base de conhecimento acumulado incorporados em um período relativamente longínquo. Em segundo, porque sua incidência não poderia ser homogênea,<sup>84</sup> já que a base de conhecimento explorável em um período *t* representa uma composição que articula *partes* de diferentes períodos e fases tecnológicas e cujo grau de codificação é intertemporalmente variável e específico a cada firma. Assim, o conhecimento acumulado previamente que a firma explora a cada período *t* tem uma composição que tende a privilegiar, proporcionalmente, os *módulos* mais recentemente adquiridos, seja por uma adequação maior à atual fase tecnológica em que se encontra, seja por limitações cognitivas na evocação completa do conhecimento inscrito nas rotinas de busca tecnológica realizada mais remotamente.

Quanto à segunda etapa, ao colocar a base de conhecimento e capacitações tecnológicas da firma como argumento do processo estocástico que define o resultado do processo de busca tecnológica das firmas (quer inovadoras, quer imitadoras), permite-se que a influência do esforço de P&D da firma sobre seu ritmo de progresso técnico seja contínua. Tal mudança tem a vantagem adicional de, como será demonstrado mais adiante, ser capaz de reproduzir um tipo de cumulatividade na trajetória tecnológica da firma bastante semelhante àquela que existe no modelo Nelson-Winter.

Todavia, nosso interesse aqui está em um outro tipo de *feedback* positivo sobre a capacidade tecnológica da firma e que deriva exclusivamente do sucesso inovativo ou imitativo alcançado pela firma em períodos prévios – um processo de realimentação da *busca tecnológica* cujo benefício pode ser transitório<sup>85</sup> e será tanto maior quanto mais recentes forem os êxitos obtidos pelas estratégias tecnológicas, ou, como será definido adiante, quanto maior for o grau de *competência tecnológica* da firma. A intensidade com que ambas as fontes de cumulatividade podem ser combinadas pode, inclusive, abrir espaço para uma tipificação da dinâmica industrial sob diferentes regimes tecnológicos [cf. Malerba e Orsenigo (1993)]: um em que há apenas cumulatividade *normal* (relativa apenas aos efeitos do maior esforço de P&D sobre a base de conhecimento e capacitações tecnológicas que a firma possui) e outro em que existe *hipercumulatividade* (os elementos da cumulatividade *normal* combinados com as vantagens ligadas ao desempenho tecnológico prévio da firma – de sucesso ou fracasso).

Por fim, quanto à terceira etapa, mais do que uma simples sofisticação analítica (e longe de ser uma simples internalização espúria de variáveis), a endogeneização da trajetória tecnológica das firmas objetiva eliminar as implicações que a exogeneidade da taxa de crescimento das oportunidades tecnológicas tem sobre o padrão evolutivo da fronteira de produtividade das firmas.<sup>86</sup> De fato, o problema não está especificamente na exogeneidade do ritmo de crescimento da fronteira tecnológica, comumente justificada nos modelos que compartilham dessa representação como uma decorrência do tipo de regime tecnológico – *science-based* [cf. Nelson e Winter (1982, Caps. 12 e 13)] – que condiciona as relações existentes entre a atividade de P&D e o crescimento da produtividade na indústria, mas na inexistência de um processo de exploração das oportunidades tecnológicas<sup>87</sup> que permita que a exogeneidade da fronteira transmita-se para a própria trajetória tecnológica da firma.



Observe-se que não há inconsistência em interpretar analiticamente a *trajetória tecnológica* como o movimento da produtividade fronteiriça da firma:<sup>88</sup> a mudança de produtividade sintetizaria os aperfeiçoamentos das características técnicas do produto ou processo, dentro das prescrições (e direções) estabelecidas pelo *paradigma tecnológico* e devidamente ponderadas pelos conflitos entre as dimensões técnicas e econômicas envolvidas. O problema está em admitir que a fronteira de produtividade da firma (com sucesso inovativo) se desloca seguindo os *picos* da produtividade “latente” (*Ibidem*, p. 283), isto é, seguindo a fronteira tecnológica, sem que existam fases intermediárias – ou um tipo de ciclo no processo de exploração de oportunidades tecnológicas – que revelem o processo de *transição tecnológica* entre o nível de produtividade prevalecente da firma e aquele nocionalmente disponível pelas oportunidades tecnológicas que o progresso científico engendrou. Até porque, mesmo em uma indústria do tipo *science-based* [ver taxonomia em Pavitt (1984)], parece normal considerar que as firmas levam algum tempo para alcançar os *picos* potenciais de produtividade, que, pelos desenvolvimentos na pesquisa científica (básica e ou aplicada), se tornam *nocionalmente* factíveis.

Não se trata, portanto, tão-somente de remover a exogeneidade dos deslocamentos da *fronteira tecnológica*, mas de explicitar um processo, específico à firma, de exploração dessas oportunidades que dependeria das capacitações tecnológicas e da base de conhecimento que ela possui.<sup>89</sup> Assim, o tratamento endógeno da trajetória tecnológica das firmas (e não dos deslocamentos da fronteira tecnológica) passa não pela definição ou criação de algum vínculo entre a taxa de crescimento da “produtividade latente” [Nelson e Winter (1982, p. 283)] e os investimentos em P&D que as firmas realizam, mas pela subordinação da *direção* e da *velocidade* com que exploram as oportunidades tecnológicas que o progresso científico (direta ou indiretamente<sup>90</sup>) torna possível<sup>91</sup> – ou seja, da trajetória tecnológica que cada firma segue – ao conhecimento tecnológico que possui.

Quanto à velocidade dos deslocamentos da fronteira tecnológica impulsionada pelo desenvolvimento científico, ela pode ser suposta independentemente da dinâmica de um setor *scale-intensive*, próximo ao nosso. E, mais ainda, por se tratar de um modelo unissetorial incapaz de captar as interações complexas da ciência com a tecnologia que governariam o crescimento das oportunidades tecnológicas para cada setor, ela pode ser admitida independentemente da atividade de P&D na indústria. Mas essa exogeneidade serve de forma aproximativa e tanto mais razoável quanto menos envolvidos no quadro modelístico proposto estiverem os setores cujas inovações reconhecidamente possam contribuir para, ou mesmo preceder,<sup>92</sup> o progresso interno de várias disciplinas cuja base de conhecimento guarde ampla interseção com o conjunto de capacitações tecnológicas e de conhecimento científico básico e ou aplicado<sup>93</sup> relevantes para as firmas nesses setores.

### 3.2.3. Base de conhecimento e capacitações tecnológicas da firma<sup>94</sup>

Seja  $\Gamma_{i,t}$  a base de conhecimento tecnológico explorável da firma  $i$  no período  $t$ , formada (1) pelo conhecimento tecnológico acumulado<sup>95</sup> previamente e que está *efetivamente* disponível no período  $t$ ,  $\tilde{\Gamma}_{i,t}$ ; (2) pelo conhecimento tecnológico

associado ao próprio esforço de P&D que a firma realiza no período corrente,  $E_{i,t}$ ; (3) pela internalização do conhecimento que *transborda* (*spillovers*) da atividade de P&D das firmas rivais (*intra-industriais*),  $S_{i,t}$ ; e (4) por aquele outro tipo de conhecimento externo à firma, proveniente, com adequação maior ou menor às necessidades tecnológicas da firma, do sistema público de pesquisa (laboratórios, órgãos de pesquisa e o próprio sistema universitário) e da atividade de P&D realizada em outros setores e que será aqui representada por  $S_t^P$ .

Mas a expressão da base de conhecimento tecnológico da firma apenas com esses elementos estaria incompleta. É preciso estabelecer ainda que a capacidade de a firma assimilar, e converter às suas necessidades, o conhecimento tecnológico que vaza da própria atividade de P&D das firmas rivais, ou que é exógeno ao setor e de domínio público, depende da *capacidade de absorção* ( $0 \leq \xi_{i,t} \leq 1$ ) que possui e que é aprimorada pelo esforço de P&D contínuo que realiza – donde se seguiria, para além de seus efeitos sobre a geração de conhecimento ou inovações, seu papel *dual* na atividade tecnológica da firma, referido anteriormente.

O aperfeiçoamento dessa capacidade de internalizar o conhecimento externo à firma envolve um tipo de aprendizado distinto daquele comumente observado na atividade de produção, do tipo *by doing*, já que não está associado à reprodução ou repetição de processos mecânicos [cf. Logan (1988)], mas a processos cognitivos controlados (e não-automatizados), exigindo esforço intencional direcionado à realização de tarefas, com aspectos novos e variáveis, ligadas à combinação e comparação seletiva do conhecimento já existente com o conhecimento externo, visando à criação de novo conhecimento.<sup>96</sup>

Assim, a base de conhecimento e das capacitações tecnológicas da firma pode ser definida como

$$\Gamma_{i,t} = \tilde{\Gamma}_{i,t} + E_{i,t} + \xi_{i,t} (S_{i,t} + S_t^P), \quad (44)$$

sabendo-se que a relação entre  $\Gamma_i$  e cada um dos elementos do lado direito dessa equação é tal que

$$\Gamma_{E_i}^i > 0, \Gamma_{S_i}^i > 0, \Gamma_{S_t^P}^i > 0, \Gamma_{\xi_i}^i > 0$$

e notando-se ainda que o efeito da capacidade de absorção sobre a base de conhecimento acumulada cresce a taxas decrescentes, isto é,  $\Gamma_{\xi_i \xi_i}^i < 0$ . Como  $\tilde{\Gamma}_{i,t}$  representa o conhecimento previamente acumulado e que está disponível em  $t$  (ou seja, já devidamente *depreciado*), a partir da equação (44) tem-se então que, em tempo discreto,<sup>97</sup>

$$\Delta \Gamma_{i,t} = E_{i,t} + \xi_{i,t} (S_{i,t} + S_t^P) - \tilde{d}_{i,t}^\Gamma \quad (45)$$

significando que, entre o período  $t$  e  $t - 1$ , o conhecimento e a capacitação tecnológica associados ao esforço interno de P&D e aos *spillovers* *intra* e *extra*-industriais efetivamente internalizados adicionam-se ao *estoque* prévio existente, garantindo, entretanto, que a parte  $\tilde{d}_{i,t}^\Gamma$  do conhecimento acumulado previamente que foi *depreciada* será subtraída;  $\tilde{d}_{i,t}^\Gamma$ , como será visto em seguida, é uma medida da perda total pela qual passa a base de conhecimento da firma, em razão ora de li-

mitações cognitivas relacionadas ao processo de armazenamento e *recuperação* desse conhecimento acumulado, ora de uma reorganização seletiva de parte desse conhecimento estimulada por resultados (fracassos na tentativa de inovar ou imitar tecnologias) que evidenciam algum grau de obsolescência de parte da base de conhecimento utilizada. O tipo dominante de depreciação dependerá da estrutura atual de organização do conhecimento dentro da firma, entre o que é tácito e o que é codificado – distinção, de resto, já apontada em Nelson e Winter (1982, Cap. 5) e explorada mais detalhadamente em Dosi (1996), Zack (1999), Malerba e Orsenigo (2000), Balconi (2000), Grimaldi e Torrisi (2001) e Antonelli (2002).

O conhecimento codificado, de um lado, corresponde basicamente à parte do conhecimento sobre “o que fazer” e “como fazer” que pode ser documentada e descrita de maneira algorítmica, de modo a facilitar sua (re)utilização e reprodução mediante algum esforço de capacitação ou treinamento [ver Dosi e Coriat (2002, p. 310)]. A parte tácita do conhecimento, por outro lado, representa o conjunto de capacitações e experiência que é inerente às habilidades (*skills*) que os agentes internos à firma possuem e que não podem ser escritas ou expressas de modo formal, sendo, no entanto, essenciais na operacionalização de certas tarefas e, mais geralmente, na solução de problemas para os quais não há solução evidente. É claro que essa distinção dicotômica não esgota as possibilidades de representação do conhecimento tecnológico e nem quer significar que inexistem posições intermediárias de classificação desse conhecimento. Embora essa divisão tenha outras implicações, ela serve também para evidenciar três aspectos: (1) as especificidades na organização interna da base de conhecimento da firma, que influenciam o grau de apropriabilidade do conhecimento formal gerado pelo seu esforço de P&D; (2) os limites existentes na transferência do conhecimento – o que seria um corolário de (1); e (3) os mecanismos endógenos que influenciam o processo de codificação e, portanto, de difusão do conhecimento tecnológico.

Feitas essas considerações, podemos retomar a definição do termo  $\tilde{d}_{i,t}^{\Gamma}$  na equação (45), que, em notação vetorial, pode ser decomposto da seguinte forma:

$$\tilde{d}_{i,t}^{\Gamma} = (\mathbf{1}' - \mathbf{D}_{T(i)}') \cdot (1 - \eta_{i,t}) \cdot \hat{\Gamma}^{\Delta(i,t-1)} + (\mathbf{1}' - \mathbf{D}_{C(i)}') \cdot \eta_{i,t} \cdot \hat{\Gamma}^{\Delta(i,t-1)}, \quad (46)$$

em que

$$\mathbf{D}_{T(i)}' = [\rho_{1,k}^{T(i)}] ; k = 1, 2, \dots, t-1 \text{ e } \mathbf{D}_{C(i)}' = [\rho_{1,k}^{C(i)}] ; k = 1, 2, \dots, t-1$$

são vetores-linha<sup>98</sup> ( $\in \Re_{t-1}$ ) cujos elementos, na equação (46), determinarão a taxa de depreciação da parte tácita  $(\mathbf{1}' - \mathbf{D}_{T(i)}')$  e a taxa de depreciação da parte codificada  $(\mathbf{1}' - \mathbf{D}_{C(i)}')$  do *módulo* de conhecimento incorporado, no período  $k$ , à base de conhecimento da firma  $i$ , respectivamente. Observe-se ainda que

$$\hat{\Gamma}^{\Delta(i,t-1)} = [\Delta \hat{\Gamma}_{k,1}^i] ; k = 1, 2, \dots, t-1 \quad (47)$$

é um vetor-coluna ( $\in \Re^{t-1}$ ) cujos elementos,  $\Delta\Gamma_{k,1}^i$ , representam as várias *partes* que formam a base de conhecimento tecnológico da firma  $i$  no período  $t$  e que foram incorporadas no período  $k$ . A partir da equação (45), sabe-se que

$$\Delta\hat{\Gamma}_{k,1}^i = E_{i,k} + \xi_{i,k} (S_{i,k} + S_{i,k}^P) ; k = 1, 2, \dots, t-1. \quad (48)$$

A multiplicação do vetor  $\hat{\Gamma}^{\Delta(i,t-1)}$  por um escalar, que denota o grau de codificação da base de conhecimento tecnológico da firma no período  $t$  – e, residualmente  $(1-\eta_{i,t})$ , seu grau de *tacitness* –, garantirá que a incidência de cada taxa se dê apenas na parte que lhe corresponde. Das equações (46) e (48) podemos explicitar o componente  $\tilde{\Gamma}_{i,t}$  da equação (44):

$$\tilde{\Gamma}_{i,t} = \sum_{k=1}^{t-1} \eta_{i,t} \rho_{i,k}^C \cdot \Delta\hat{\Gamma}_{k,1}^i + \sum_{k=1}^{t-1} (1-\eta_{i,t}) \rho_{i,k}^T \cdot \Delta\hat{\Gamma}_{k,1}^i \quad (49)$$

Antes de especificarmos cada um dos elementos na equação (48), resta-nos apresentar duas coisas: primeiro, os elementos dos vetores  $\mathbf{D}_{C(i)}'$  e  $\mathbf{D}_{T(i)}'$  ( $\rho_{i,k}^C$  e  $\rho_{i,k}^T$ ), indicadores indiretos do grau de *depreciação* intertemporal da base de conhecimento tecnológico da firma e que representam, respectivamente, o componente *cognitivo* e *tecnológico* do cálculo do processo de atualização da base de conhecimento da firma que pode ser explorada a cada período; e segundo, o processo endógeno de codificação da base de conhecimento que determina os valores que  $\eta_{i,t}$  pode assumir.

### 3.2.4. *Conhecimento tácito: a depreciação de natureza cognitiva*

Reconhecidas as especificidades quanto ao tipo de armazenamento e organização do conhecimento tácito disposto na memória dos indivíduos [cf. Saint-Onge (1998, p. 226) e Simon (1991) *apud* Dosi e Coriat (2002, p. 300)] que conformam a organização interna da firma, é razoável postular que sua *depreciação* e, portanto, a especificação que será feita em seguida de  $\rho_{i,k}^T$  envolvem dois tipos de fenômenos cognitivos.

O primeiro é o fenômeno da *interferência*: o acúmulo de novos conhecimentos e os processos neuronais exigidos na sua articulação com o conjunto já acumulado de conhecimento tecnológico dariam origem a uma recombinação seletiva dos componentes tácitos da base de conhecimento da firma que tenderia a considerar primordialmente aquelas partes mais recentemente adquiridas em detrimento das relativamente mais antigas – que, de resto, estão associadas a outras fases da trajetória tecnológica da firma e mesmo a outros níveis de conhecimento acumulado. É como se o conhecimento tácito estivesse na *memória de trabalho* (com capacidade de armazenamento limitada<sup>99</sup>), cujo conteúdo seleciona proporcionalmente mais daquele conhecimento utilizado mais recentemente.

O segundo é o fenômeno da *deterioração*, que está associado a limitações cognitivas<sup>100</sup> na evocação de *partes* do conhecimento que foram integradas à base

de conhecimento no passado remoto e recente. Os indivíduos que operam as rotinas operacionais e tecnológicas dentro da firma valem-se da própria memória como meio de recorrer ao conhecimento tácito do passado a fim de utilizá-lo no presente, e os mecanismos dinâmicos que governam os processos de armazenamento e recuperação da informação não impedem que alguma parte desse conhecimento seja perdida, basicamente porque as dificuldades na *ativação* desse conhecimento tácitas são tanto mais significativas quanto maior é o tempo transcorrido.

Assim, tendo esses aspectos em mente e observando-se a equação (49), a equação a seguir, (50), define a taxa que indica a parte disponível (*não-depreciada*) do que é tácito em cada um dos *fluxos* de conhecimento que compõem a base da firma *i*. Para os fluxos incorporados no período  $t - k$  ( $k = 1, \dots, t - 1$ ), segue-se então que

$$\rho_{i,t-k}^T = \left( \frac{1}{k^\delta} \right) \left[ 1 - i \left( \frac{\Gamma_{i,t-1}}{\Gamma_{i,t-k}} - 1 \right) \right], \quad (11)(50)$$

em que o primeiro e o segundo termo (entre colchetes) do lado direito da equação representam o efeito *deterioração* e o efeito *interferência*, respectivamente;  $\delta$  e  $i$  são parâmetros – definidos tal que  $\delta \in (0, 1)$  e  $i \in [0, 1]$  – que indicam a velocidade de *depreciação* da parte tácita da base de conhecimento pelo efeito *deterioração* e o grau de *interferência* que o acúmulo de novos conhecimentos<sup>101</sup> exerce sobre a proporção do conhecimento incorporado em  $t - k$  e que fará parte da composição corrente (atualizada) da base de conhecimento tecnológico da firma. Observe-se, no exemplo seguinte, que esses efeitos se reforçam:

**Exemplo 1:** Suponha-se que o conhecimento acumulado em  $t - 1$  fosse o dobro do que era em  $t - k$  e que  $i = 0.01$ ; assim, conforme as equações (48) e (49), a parte da base de conhecimento tecnológico da firma *i* incorporada no período  $t - k$ ,  $\Delta \hat{\Gamma}_{t-k}^i$ , seria *depreciada* em 1%, para além do que seria apenas pelo efeito *deterioração*. Logo, se a *depreciação* da parte tácita de  $\Delta \hat{\Gamma}_{t-k}^i$  pelo efeito *deterioração* fosse da ordem de 10%, nesse caso, 89% ( $1 - \rho_{i,t-k}$ ) da parte tácita de  $\Delta \hat{\Gamma}_{t-k}^i$  por conta do efeito *interferência*, estariam presentes na composição de  $\tilde{\Gamma}_{i,t}$  (e não 90%), conforme fora definido na equação (49). ■

**Corolário 1:** A taxa intertemporal de *depreciação* ( $1 - \rho_{i,t-k}$ ) da parcela tácita da base de conhecimento da firma *i* no período  $k$  possui duas propriedades. A primeira é que a *depreciação* dos módulos mais antigos da base de conhecimento tecnológico da firma é relativamente maior, embora sua intensidade cresça a taxas decrescentes.<sup>102</sup> E a segunda é que a parte mais recentemente incorporada da base,  $(t - 1)$ , de conhecimento não sofre nenhum tipo de *depreciação* de natureza cognitiva.

Para que  $(1 - \rho_{i,t-k})$  tenha a primeira propriedade, basta que a primeira e a segunda derivada parcial (em relação a  $k$ ) sejam positivas e negativas, respectivamente. Então, fazendo  $\chi = i \left( \frac{\Gamma_{i,t-1}}{\Gamma_{i,t-k}} - 1 \right)$ , tem-se que

$$\frac{\partial}{\partial k}(1 - \rho_i^T) = \frac{\partial}{\partial k} \left[ \frac{1}{k^\delta} (1 - \chi) \right] = \frac{\delta}{k^{1+\delta}} (1 - \chi);$$

derivando novamente, vê-se que

$$\frac{\partial^2}{\partial k^2}(1 - \rho_i^T) = \frac{\partial}{\partial k} \left[ \frac{\delta}{k^{1+\delta}} (1 - \chi) \right] = -\frac{\delta(1+\delta)}{k^{2+\delta}} (1 - \chi),$$

donde segue-se, como se queria apontar, que

$$\frac{\partial}{\partial k}(1 - \rho_i^T) > 0 \text{ e } \frac{\partial^2}{\partial k^2}(1 - \rho_i^T) < 0. \text{ A segunda propriedade vem de } \rho_{i,t-1}^T = 1.$$

■

Observe-se ainda que o valor assumido por  $\delta$  define um processo mais ou menos veloz de *depreciação* das partes da base de conhecimento menos recentemente incorporadas. Assim, supondo, sem perda de generalidade, um efeito *interferência* constante e fazendo, a partir da equação (50),  $D^T : \mathbb{N} \times (0,1) \rightarrow [0,1]$  (tal que  $D^T(k, \delta) = 1 - \rho_{i,t-k}$ ) ser a função de *deterioração* do conhecimento tácito, temos que

$$\int_a^b D^T(k, \delta') dk > \int_a^b D^T(k, \delta'') dk \quad \forall \delta' > \delta'',$$

tal que

$$k \in I_n = \{n \in \mathbb{N}; 1 \leq n \leq t-1\} \text{ e } \delta', \delta'' \in (0,1), \text{ desde que } b > a > 1.$$

### 3.2.5. Conhecimento codificado: a depreciação de natureza tecnológica

A *depreciação* que pode incidir sobre o conhecimento codificado, ao contrário daquela associada ao conhecimento tácito, está muito mais ligada a mudanças na prática organizacional induzidas pela própria trajetória estratégica da firma [cf. Dosi e Coriat (2002, p. 301)] – mediadas pelo seu contexto tecnológico e pelo estado das artes da ciência – do que a alguma limitação de natureza cognitiva.

Nesse sentido, pelo menos dois elementos justificariam a *depreciação* da parte codificada do conhecimento tecnológico. Em primeiro lugar, o desenvolvimento de novas pesquisas científicas (básica e ou aplicada) cujos resultados possam impor alguma obsolescência ao conhecimento codificado prévio utilizado pela firma. Nesse caso, tal obsolescência seria certamente tanto mais elevada quanto maior fosse o grau de difusão das novas pesquisas – o que, em última instância, dependeria não apenas do grau de corroboração<sup>103</sup> desses resultados ou do acúmulo de evidências falsificadoras do conhecimento prévio, mas também do próprio surgimento de aplicações bem-sucedidas, ainda que em estágio experimental.

Em segundo, e agora por uma razão específica à firma, porque, ao fracassar na tentativa de gerar uma inovação ou imitação que envolva a utilização de todo um conjunto de capacitações e conhecimento tecnológicos previamente acumulado, a parte codificada desse conhecimento sofre uma revisão voluntária, de modo a reorganizar e redefinir o conhecimento (ou parte dele) que será utilizado subsequentemente. No entanto, a *depreciação* produzida por esse processo de rearticulação dos elementos codificados, que formam a base de conhecimento da firma, depende do sucesso prévio, maior ou menor, de suas estratégias tecnológicas. Trata-se de uma *depreciação* induzida por seu próprio histórico tecnológico e que tende a ser tão mais intensa quanto maiores são as evidências que ela possui sobre a inadequação atual do conhecimento codificado já incorporado à base de conhecimento – evidências essas obtidas a partir dos *fracassos* de suas estratégias tecnológicas no intervalo de tempo relevante.

Assim, considerando-se, quanto ao primeiro motivo, que o progresso científico, em geral, é *normal* (e não *revolucionário*) e não requer uma *depreciação*, por obsolescência, além daquela imposta normalmente pela firma, é possível formalizar que

$$\rho_{i,t-k}^C = \left( \frac{1}{1+\alpha} \right)^{\tilde{f}}, \quad (51)$$

que indica a parte disponível (*não-depreciada*) do que é codificado em cada um dos *fluxos* de conhecimento que compõem atualmente a base da firma  $i$  e que foram incorporados originalmente no período  $t-k$  ( $k = 1, \dots, t-1$ ). O parâmetro  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) estabelece o ritmo de *depreciação*: para um mesmo  $\tilde{f}$  (definido logo em seguida), a proporção do conhecimento codificado de certa parte da base de conhecimento a ser *depreciada* será tanto maior quanto maior for  $\alpha$ . Trata-se de uma sinalização da importância que a firma concede ao seu *histórico* tecnológico enquanto fonte básica de indicação da apropriabilidade maior ou menor do conhecimento e das capacitações tecnológicas que ela adquiriu para o resultado (passado) de suas estratégias.

Por sua vez,  $\tilde{f}$  é definido tal que

$$\tilde{f} = \begin{cases} 0 & \text{se } k = 1 \\ 0 & \text{se } \left( (t-1) - \sum_{k=2}^{t-1} \tilde{d}_{i,t-k} \right) < [\Phi_{i,\Delta t}] \\ \left( (t-1) - \sum_{k=2}^{t-1} \tilde{d}_{i,t-k} \right) - [\Phi_{i,\Delta t}] & \text{c.c.} \end{cases} \quad (52)$$

onde  $[\Phi_{i,\Delta t}]$  é o menor inteiro na vizinhança de  $\Phi_{i,\Delta t}$ , definido tal que

$$\Phi_{i,\Delta t} = u_i^F \left[ (t-1) - (t-k) \right] = u_i^F (k-1) \quad (53)$$



é o nível de aspiração que a firma possui, dado por suas *expectativas tecnológicas*, quanto aos fracassos relativos que julga aceitável incorrer entre o período  $t - 1$  e  $t - k$ . A fim de tornar específico à firma o percentual  $u_i^F$  que determine esse nível de aspiração satisfatório, podemos defini-lo de modo que

$$u_i^F \sim U [p^{\min}, q^{\max}] \quad \forall \quad i = 1, \dots, n, \quad (54)$$

em que  $0 < p^{\min} < q^{\max} < 1$ , sendo  $p^{\min}$  e  $q^{\max}$  os parâmetros.

Observe-se que a equação (51) implica, de modo análogo à parte tácita do conhecimento, que o *fluxo* mais recentemente incorporado ( $t - 1$ ) à base de conhecimento da firma não sofre, no período  $t$ , qualquer tipo de *depreciação*, seja porque é possível que a firma ainda não conheça o resultado de sua estratégia tecnológica no (início do) período corrente, seja porque suas rotinas organizacionais indicam que o resultado de um único período (se fracasso, isto é,  $\tilde{d}_{i,t-1} = 0$ ) é ainda insuficiente para justificar qualquer rearticulação dos elementos da base de conhecimento. Em todo caso, para  $k > 1$ , a variável  $\tilde{f}$  indica o número de *fracassos* obtidos pela firma, para além do que julgaria satisfatório, entre o período passado e o período em que certa *parte* da base de conhecimento foi incorporada.

Observe-se também que  $\tilde{d}_{i,t}$  é uma variável aleatória de Bernoulli cujo resultado é tal que

$$\tilde{d}_{i,t} = \begin{cases} 1 & \text{com probabilidade } F_{\Gamma}(\Gamma_{i,t}, b\theta_{i,t}) \\ 0 & \text{com probabilidade } 1 - F_{\Gamma}(\Gamma_{i,t}, b\theta_{i,t}) \end{cases} \quad (55)$$

por ora bastando notar que  $F_{\Gamma} : \mathbf{R}^+ \rightarrow [0, 1]$  é a função de distribuição de probabilidade que indicará o resultado (sucesso ou fracasso) da estratégia tecnológica (inovação ou imitação) da firma  $i$  no período  $t$ , sendo seu resultado dependente (i) da base de conhecimento tecnológica da firma no período,  $\Gamma_{i,t}$ , definida na equação (44); (ii) de um parâmetro  $b$  que depende de ser firma inovadora ( $b=b^n$ ) ou imitadora ( $b=b^m$ ); e (iii) da competência tecnológica da firma no período corrente,  $\theta_{i,t}$ , que será definida em seguida.

**Corolário 2:** A taxa de depreciação da parte codificada dos vários módulos que fazem parte da base de conhecimento da firma  $i$  no período  $t - k$ ,  $1 - \rho_{i,t-k}^C$ , possui duas propriedades. A primeira é que a depreciação será tanto maior quanto mais a firma, dentro do intervalo de tempo relevante ( $t - k, t - 2$ ;  $\forall k > 2$ , em que  $k = 1, \dots, t - 1$ ), tenha fracassado em suas estratégias tecnológicas, tendo obtido resultados insatisfatórios acima daquilo que julgaria adequado. A segunda é que os efeitos desses resultados sobre a intensidade da depreciação são relativamente menores à medida que aumentam.

Esse corolário é inferido trivialmente do fato de que, na equação (51), fazendo

$$h = \left( \frac{1}{(1 + \alpha)} \right), \text{ temos que}$$



$$\frac{\partial(1-h^{\tilde{f}})}{\partial \tilde{f}} = -h^{\tilde{f}} \ln h = -\left(\frac{1}{1+\alpha}\right)^{\tilde{f}} \ln\left(\frac{1}{1+\alpha}\right),$$

que é positivo para todo  $\tilde{f} \geq 1$ , já que  $\ln\left(\frac{1}{1+\alpha}\right) < 0 \quad \forall \quad \alpha > 0$ . Em adição, tem-se também que

$$\frac{\partial^2(1-h^{\tilde{f}})}{\partial \tilde{f}^2} = -h^{\tilde{f}} \cdot (\ln h)^2,$$

que é menor que 0  $\forall \tilde{f} \geq 1$ , já que agora  $(\ln h)^2 > 0$ , uma vez que  $0 < h < 1$ . Assim, é fácil ver que

$$\frac{\partial^2}{\partial \tilde{f}^2}(1-\rho_{i,t}^C) > 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial^2}{\partial \tilde{f}^2}(1-\rho_{i,t}^C) < 0.$$

■

Ficam, assim, definidos os elementos dos vetores  $\mathbf{D}_{C(i)}^i$  e  $\mathbf{D}_{T(i)}^i$ , utilizados na equação (47), que define a base de conhecimento acumulado previamente pela firma  $i$  e que está *efetivamente* disponível no período  $t$ .

Há duas observações adicionais a serem feitas a respeito da formalização do processo de *depreciação* – tanto da parte tácita, quanto da parte codificada – do estoque de conhecimento tecnológico da firma. A primeira é que não se está propondo uma perda total ou mesmo exorbitante do conhecimento acumulado pela firma; essa *perda*, ou *não-validação* de algumas partes do conhecimento acumulado pela firma, não exclui a existência de um processo paralelo de reutilização e consolidação desse conhecimento. A segunda é que, mesmo que esse detalhamento do processo dinâmico de formação da base de conhecimento e das capacitações tecnológicas da firma não chegue a ter uma influência decisiva sobre o seu desempenho competitivo – o que só poderia ser avaliado a partir de uma série de simulações do modelo sob diferentes formulações desses aspectos –, ainda assim tal parte do modelo abre espaço para a integração de aspectos psicológicos no processo decisório da firma – para além, como é usual, da formação de expectativas.

### 3.2.5.1. A dinâmica do processo de codificação do conhecimento tecnológico

O processo de codificação do conhecimento pode trazer, basicamente, duas vantagens para a firma:

1) reduz sua dependência organizacional das habilidades individuais, uma vez que a maior codificação do conhecimento acumulado abre espaço para sua maior difusão internamente; e

2) permite, como vimos, isolar sua base de conhecimento de perdas derivadas das limitações de natureza cognitiva – um isolamento que será tanto maior quanto mais elevado for o grau de codificação do conhecimento tecnológico que a firma possui.

Há duas razões para se acreditar que a mudança na divisão da base de conhecimento, entre uma parte tácita e outra codificada, esteja diretamente relacionada ao grau de maturidade da tecnologia<sup>104</sup> que a firma está explorando. Primeiro, porque, à medida que a firma vai ultrapassando as fases iniciais do processo de exploração das oportunidades tecnológicas (de modo que sua trajetória tecnológica comece a entrar em uma fase de rendimentos decrescentes), a rotinização dos procedimentos de P&D efetuados permite que parte do conhecimento tecnológico tácito, utilizado na solução dos problemas que surgiram, seja documentada e facilmente acessível para a própria firma – independentemente da rotatividade da mão-de-obra mais diretamente ligada à atividade de P&D. Segundo, porque são os recursos financeiros que a firma vai obtendo, em consequência das vantagens competitivas que o sucesso de suas estratégias tecnológicas produz (mesmo que transitórias), que permitirão uma intensificação do processo de codificação. Por fim, há ainda a notar que o avanço da firma em direção à fronteira tecnológica possibilita que certas orientações se tornem mais claras, de maneira que ela possa desenvolver e investir na codificação de seu conhecimento e nas capacitações tecnológicas.

Contudo, uma formalização do processo de codificação deve não apenas ser consistente com esses aspectos, como também ser suficientemente flexível para permitir (1) que sempre haja espaço para a existência e utilização de conhecimento e de capacitações tácitas, o que implica, em última instância, haver limites ao processo de codificação do conhecimento tácito; e (2) que esses limites possam ser parametrizados para que o modelo possa ser compatibilizado, se for o caso, com a existência de uma divisão do conhecimento entre tácito e codificado relativamente rígida.<sup>105</sup> Assim, conforme foi indicado na equação (49), o grau de codificação da base de conhecimento da firma  $i$  no período  $t$ ,  $\eta_{i,t}$ , pode ser definido de tal forma que

$$\eta_{i,t} = \eta_{\min} + \left( \frac{\bar{\pi}_{i,t} - \pi_{\min}}{\pi_{\max} - \pi_{\min}} \right) (\eta_{\max} - \eta_{\min}), \quad (56)$$

em que  $\eta_{\max}$  e  $\eta_{\min}$  são parâmetros que definem os limites<sup>106</sup> máximo e mínimo, respectivamente, de codificação da base de conhecimento. Observe-se ainda que

$$\bar{\pi}_{i,t} = \sum_{j=1}^k \beta_{i,j,t} \pi_{i,j,t} \quad (57)$$

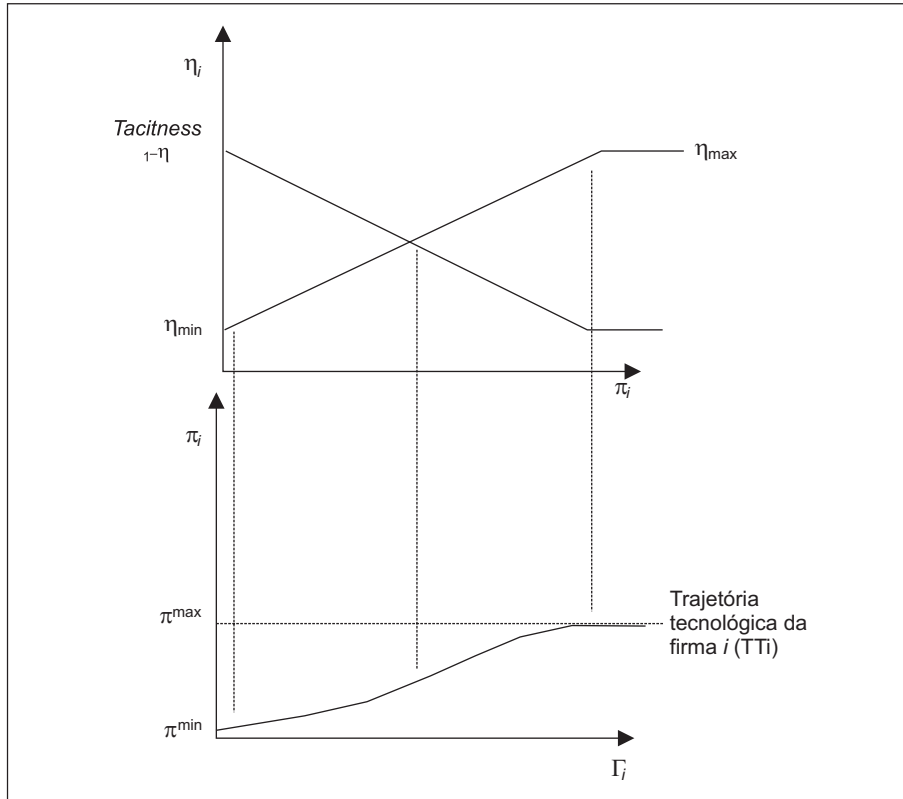
é a produtividade média da firma  $i$  no período  $t$ , representada pela produtividade de cada equipamento  $j$  que a firma  $i$  possui em  $t$ ,  $\pi_{i,j,t}$ , ponderada pelo percentual da capacidade produtiva, no período  $t$ , da firma que opera com esse equipamento  $j$ . Essa formulação implica que o grau de codificação do conhecimento tecnológico explorável que ela acumula segue, *pari passu*, o grau de maturidade da tecnologia que está explorando, notando, entretanto, que

$$\lim_{\pi_{i,t} \rightarrow \pi_{\max}} \eta_{i,t} = \eta_{\max}.$$

Estamos, assim, supondo que cada firma, inicialmente, possua um mesmo nível de produtividade, dado por  $\pi_{\min}$ , e que esse nível se modifica em razão do sucesso maior ou menor de suas estratégias tecnológicas; do mesmo modo, suporemos também a existência de uma produtividade-limite<sup>107</sup> (ou seja, uma fase de esgotamento na exploração das oportunidades inovativas; ver Figura 1, em seguida). Ambos os aspectos são facilmente compreensíveis se se tem em mente dois fatores. O primeiro é que o interesse do modelo é observar, intertemporalmente, o desempenho competitivo das firmas e da própria estrutura da indústria simultaneamente ao processo de exploração gradual de um potencial produtivo – aqui dado por  $\pi_{\max}$  – cujo ritmo dependerá do acúmulo de conhecimento e de competências tecnológicas pela firma. O segundo, que qualquer tentativa de tornar endogenamente modificável esse limite nocional de produtividade – dado pelo estado atual do conhecimento científico – exigiria uma série de simplificações, tanto no que se refere ao impacto quantitativo que o progresso científico teria sobre esses limites potenciais de produtividade quanto no que diz respeito à periodicidade com que essas mudanças ocorreriam.

FIGURA 1

**Grau de codificação do estoque de conhecimento e estágio da trajetória tecnológica**



A equação (56) pode ser considerada uma representação simples de um processo complexo que pode envolver outros elementos (e.g., institucionais). Mas ela nos permite vincular de modo claro o grau de codificação ao atual estágio da trajetória tecnológica da firma. O grau de codificação não importa apenas porque afeta a extensão do conhecimento acumulado pela firma que vai sendo reutilizado, mas porque, como será visto adiante, afeta o grau de apropriabilidade dos resultados mais imediatos de seu esforço tecnológico, isto é, a codificação afeta o grau de *transbordamento* (*spillovers*) a que seu investimento em P&D está suscetível e, por extensão, afeta os benefícios da mesma natureza que ela pode também obter das demais firmas. Codificar o conhecimento é, portanto, uma estratégia defensiva interna (reduz a parte da base de conhecimento sujeita a depreciação de natureza cognitiva<sup>108</sup>) e externa (aumenta o grau de apropriabilidade do seu esforço de P&D).

Por fim, vale observar que não se está afirmando que qualquer mudança das quantidades *absolutas* entre um e outro tipo de conhecimento na base de conhecimento da firma se dê unicamente por meio de uma variação idêntica e de sinal contrário na outra parte; na verdade, o crescimento de ambos é possível, embora a divisão entre eles, por hipótese, esgote as possibilidades de representação do conhecimento.

### 3.2.6. Capacidade de absorção da firma e dualidade de seu esforço de P&D

O engajamento da firma na atividade de P&D possui uma dupla funcionalidade, como vem sendo destacado por vários autores.<sup>109</sup> De um lado, produzir conhecimento e capacitações tecnológicas que permitam à firma obter técnicas mais produtivas (o que, no presente modelo, e no que segue ainda o modelo NW, pode se dar por meio tanto de inovação quanto de imitação). De outro, capacitar-se para apreender o conhecimento tecnológico das firmas rivais e até mesmo o conhecimento tecnológico e científico produzido fora da indústria; nesse último caso, o esforço de P&D acabaria por servir como uma espécie de estratégia defensiva (mas não passiva) visando a uma atualização tecnológica freqüente, de modo a não abrir espaço para descontinuidades extensas no tipo de capacitação e conhecimento requeridos para, dentro dos limites estabelecidos pelo paradigma tecnológico dominante, explorar as oportunidades tecnológicas disponíveis. De fato, à medida que a firma vai acumulando um considerável conjunto de conhecimentos e experiência tecnológica, aprimora-se sua orientação heurística acerca dos tipos de projetos com maior possibilidade de serem bem-sucedidos tecnologicamente.

Entre os elementos que restam para definir completamente a base de conhecimento da firma *i* no período *t* – equação (44) –, há ainda o que se chamou de esforço tecnológico, representado pelos recursos que a firma dedica em cada período à atividade de P&D:

$$E_{i,t} = \omega \cdot (p_{i,t-1} x_{i,t-1}), \quad (58)$$

em que  $\omega$  indica o percentual da receita de vendas que a firma  $i$  investe em P&D,  $p_{i,t-1}$  é o preço praticado no período prévio e  $x_{i,t-1}$  as vendas efetivas da firma no mesmo período, valendo observar que, supondo não ter havido atraso de entrega e que, portanto, as vendas efetivas são iguais às encomendas,

$$x_{i,t} = e_{i,t} = s_{i,t-1}e_t \quad (59)$$

em que  $s_{i,t-1}$  é o *market share* no período prévio, indicando quanto da demanda total do período,  $e_t$ , será atendida por sua produção.<sup>110</sup>

A equação (58) evidencia a dependência analítica, anteriormente salientada, do presente modelo de *busca tecnológica* em relação às variáveis que determinam as decisões de produção e preço da firma. É preciso lembrar também que as novas tecnologias que o esforço tecnológico capacita a firma a obter são, por hipótese, restritas às inovações de processo [Possas *et al.* (2001, p. 357)]. Nesse sentido – numa interpretação livre –, as firmas fazem P&D como uma espécie de cooperação (ou integração vertical) com o setor de máquinas e equipamentos, para torná-lo capaz de fornecer novas gerações de máquinas cuja capacidade produtiva vá, progressivamente, incorporando as oportunidades tecnológicas disponíveis. É como se o setor de máquinas e equipamentos, complementando a taxonomia de Pavitt (1984), fosse também, em certa medida, “dominado por seus usuários”, já que os construtores de plantas (setor de bens de capital) têm o conhecimento especializado dessa engenharia que as firmas usuárias (o setor modelado) não possuem, embora sejam estas que possuam o conhecimento e as especificações e detalhes das características técnico-funcionais que as plantas devem ter, em vista das necessidades e das oportunidades tecnológicas que acreditam ser capazes de explorar.

Pode parecer estranho que a adoção de uma tecnologia envolva esforço de P&D, já que poderia parecer tratar-se apenas de “comprar e usar” – e nesse caso seria mais apropriado tratar dos condicionantes primários do processo de escolha de tecnologias (com diferentes potenciais produtivos) pelas firmas, caracterizando um modelo de difusão de tecnologias. De fato, mesmo Nelson e Winter (1982, Cap. 12), ao apresentarem seu modelo de concorrência com mudança tecnológica, não se estendem muito nesse aspecto, não explicitando por que inovações de processos (do tipo *incorporadas* em máquinas e equipamentos adquiridos de outros setores) não podem prescindir do esforço sistemático de P&D. Talvez seja essa a razão pela qual Chiaromonte e Dosi (1993), em sua proposta de integração do modelo SDO com o modelo NW (cf. Capítulo 2), tenham tratado o setor de bens de capital de modo muito semelhante ao modelo (que é unissetorial) de Nelson e Winter, por considerar tal setor o único a inovar, restando ao de bens de consumo apenas decidir adotar essa ou aquela tecnologia – que, vale notar, segue de perto as especificações existentes no modelo SDO, que é um modelo de *difusão*.

É verdade que os esforços de P&D possuem “importância crucial tanto para o projeto quanto para o aperfeiçoamento tecnológico desses equipamentos” [Possas *et al.* (2001, p. 357)] e servem também para o “treinamento dos recursos humanos” que usarão tais equipamentos encomendados. Todavia, que outros elementos podem ser adicionados para justificar o compromisso permanente que as

firmas possuem com uma atividade de resultados incertos e relativamente custosa? A resposta para tanto parece estar na adoção da idéia de que o esforço de P&D envolve (além da fase de projeto) (1) ajustes adaptativos do equipamento a condições específicas e (2) desenvolvimentos visando aumentar a eficiência produtiva do equipamento para além daquele nível *inato* predefinido na fase do projeto ou para além (mas não muito) daquele que possui originalmente.<sup>111</sup>

Como o esforço de P&D que a firma realiza também a capacita a se beneficiar do esforço tecnológico das firmas rivais e mesmo de organismos públicos de pesquisa, identificando, explorando e articulando o conhecimento tecnológico que está potencialmente acessível, vamos definir a capacidade de absorção da firma  $i$  no período  $t$  da seguinte forma:

$$\xi_{i,t} = \begin{cases} 0 & \text{se } E_{i,t-1} < E^{\min} \\ 1 - \frac{1}{\hat{d} \ln(1 + E_{i,t-1})} & \text{c.c. ,} \end{cases} \quad (60)$$

de maneira que  $0 < \xi_{i,t} \leq 1 \forall t \in T$ , em que  $T$  é um conjunto de índices,  $\hat{d}$  é um parâmetro positivo menor que a unidade e  $E^{\min}$  indica o investimento em P&D a partir do qual a firma já se capacita a internalizar, em alguma medida, os *spillovers* de P&D *intra* e *extra*-industriais. Trata-se agora de definir como são determinados tais *spillovers* de P&D e em que medida eles podem realimentar, ou reduzir, o processo de diferenciação e assimetria tecnológica entre as firmas.

### 3.2.7. Spillovers de P&D e a questão da distância tecnológica

Entre as limitações do processo de busca tecnológica do modelo Nelson-Winter (ver Capítulo 2, especialmente Seção 2.1.3, deste trabalho), herdadas por outros modelos, mencionou-se a ausência de *spillovers* de P&D, que, aliados ao próprio esforço tecnológico da firma, também deveriam influenciar a capacidade inovativa ou imitativa das firmas. A idéia é que o processo de mudança técnica dentro das firmas resulta não apenas de seu próprio esforço de P&D, ou mesmo do acúmulo de conhecimentos gerados pela própria atividade de P&D da firma, mas também do intercâmbio (voluntário ou involuntário<sup>112</sup>) de informações e conhecimento tecnológico entre as demais firmas da indústria e mesmo com outros agentes ou instituições da economia.

Nesse sentido, referir-se a *spillovers intra*-industriais de P&D é apontar para benefícios que uma firma  $i$  na indústria pode obter do esforço de P&D realizado por outra(s) firma(s)  $j$ , ambas competindo no mesmo espaço econômico e compartilhando do mesmo tipo de *paradigma* tecnológico. No entanto, não há razão para supor que as firmas em uma indústria se beneficiem igualmente do conhecimento tecnológico de suas rivais. O grau em que as firmas se beneficiam do conhecimento tecnológico de suas rivais é influenciado por aspectos que são, em última instância, específicos a cada firma (v.g., base de conhecimento tecnológico, capacidade

de absorção). A idéia é, portanto, não apenas introduzir *spillovers*, mas fazê-lo superando especificações que utilizam aspectos ou hipóteses que suprimem ou são incompatíveis com a diversidade comportamental e a assimetria tecnológica [ver Jaffe (1986), Griliches (1992) e Adams (2000)], que sempre existem entre firmas em uma mesma indústria.

Além das indicações na literatura empírica, que apontam os *spillovers* de P&D como fonte importante da atividade inovativa das firmas em uma indústria,<sup>113</sup> há pelo menos três aspectos associados a esse tipo de externalidade que indicam a importância de incorporá-la ao modelo:

1) O aumento do grau de rivalidade entre as firmas, já que a possibilidade de beneficiar-se do conhecimento tecnológico das demais firmas, ou mesmo daquele conhecimento mais geral (com maior ou menor grau de interseção com o tipo de conhecimento com que a firma opera) proveniente de instituições públicas de pesquisa, está atrelada ao desenvolvimento de sua capacidade de absorção; logo, ao seu próprio esforço de P&D – o que, por tabela, afeta sua capacidade inovativa ou imitativa.

2) A abertura de espaço para aspectos institucionais (ainda que de forma muito superficial) quando da definição do grau de vazamento (potencial) do esforço de P&D das firmas. Na prática, esse tipo de evento provavelmente demandaria arranjos institucionais que protegessem os direitos de exploração restrita dos resultados de P&D das firmas, ainda que isso viesse, do ponto de vista setorial, a produzir efeitos adversos sobre o ritmo de mudança técnica e, por extensão, sobre sua eficiência produtiva.

3) E, talvez mais importante, o possível funcionamento dos *spillovers* como mecanismo de *catching-up* das firmas tecnologicamente *atrasadas* (inovadoras ou imitadoras).

Os *spillovers* de P&D que a firma  $i$ , a depender de sua capacidade de absorção – equação (60) –, pode internalizar à sua base de conhecimento tecnológico no período  $t$ , indicado por  $S_{i,t}$ , podem ser vistos como um *pool* de conhecimento tecnológico que vaza das demais  $(n - 1)$  firmas, mas cuja composição indica que a contribuição de cada uma dessas firmas para a firma  $i$  pode ser bastante distinta, seja porque apenas a parte codificada do conhecimento tecnológico incorporado no esforço de P&D de uma firma é passível de apropriação pelas demais firmas (e vice-versa), seja porque a *distância tecnológica* entre as firmas pode condicionar a dimensão do esforço tecnológico que está efetivamente acessível às demais firmas. Assim,  $S_{i,t}$  é a soma de parte do esforço de P&D conduzido por *cada uma* das  $(n - 1)$  outras firmas na indústria no período passado e que no período corrente está acessível para a firma  $i$ . Segue-se então que

$$S_{i,t} = \sum_{j \neq i}^n \lambda_{i,j}^t \kappa (\eta_{i,t} E_{j,t-1}), \quad (61)$$

em que  $(\eta_{i,t} E_{j,t-1})$  indica a parte codificada do esforço de P&D da firma  $j$  no período passado que está sujeita a algum tipo de apropriação por outras firmas no setor;  $\kappa$  é um parâmetro de natureza institucional que indica o grau de apropriabi-

lidade do esforço tecnológico das firmas no setor, sendo, portanto, uma espécie de taxa de *spillover* que denotará o percentual da parcela do esforço de P&D codificado da firma  $j$  que pode ser apropriado pela firma  $i$ .

Observe-se que, apenas por estes elementos,  $\kappa(\eta_{i,t}E_{j,t-1})$ , cada firma no setor poderia usufruir dos *spillovers* exatamente na mesma dimensão, embora o caráter *firma-específico* da capacidade de absorção, por si só, já seja suficiente para tornar divergentes os benefícios do esforço de P&D que cada firma, em relação às demais, irá de fato aproveitar. Nesse caso, porém, seria um tipo de assimetria associada ao esforço tecnológico e, em última instância, ao desempenho competitivo prévio da firma, e não um tipo de assimetria associada ao conhecimento e às capacitações tecnológicas que a firma acumulou e que torna acessível, em maior ou menor medida, a parcela do esforço de P&D que vaza das demais firmas.

A assimetria que está sendo aqui postulada, distintamente, liga-se à forma como se define a variável  $\lambda_{i,j}^t$ , de modo que o esforço de P&D que vaza entre uma e outra, para além dos condicionantes de natureza institucional ( $\kappa$ ) e específicos à firma ( $\eta_{i,t}$ ), seja distinto entre ambas pelo fato de serem diferentes quanto ao tipo de conhecimento e à capacitação tecnológica que possuem.

É conveniente explicar o mecanismo de *spillover* do modelo indicado na equação (61), sem perda de generalidade, a partir da relação entre duas firmas (suponha-se  $i$  e  $j$ ). Nesse propósito, observe-se que, definindo-se  $\Omega_{i,j}^t$  como a *distância tecnológica* entre a firma  $i$  e a firma  $j$  no período  $t$ , que se inicia, tem-se que

$$\lambda_{i,j}^t = h(\Omega_{i,j}^t)$$

em que  $h: \mathbf{R} \rightarrow (0, 1]$ , sobrejetiva, expressa a regra de associação definida por

$$h(\Omega_{i,j}^t) = \exp\left\{-v\left(\Omega_{i,j}^t\right)^2\right\}, \quad (62)$$

em que  $\lambda_{i,j}^t$  indica a magnitude dos *spillovers* que a firma  $j$  gera e que está acessível para a firma  $i$  no período  $t$  e  $v$  indica o grau de assimetria dos *spillovers* entre as duas firmas (mais adiante). Postularemos que  $\lambda_{i,j}^t$  será tanto maior quanto mais tecnologicamente próximas as firmas  $i$  e  $j$ , já que o fluxo de conhecimento tecnológico aí envolvido entre as duas firmas deve ser relativamente maior se elas estão *próximas* nas capacitações e no conhecimento tecnológico que possuem. Assim, tal medida de distância tecnológica pode ser definida da seguinte forma:

$$\Omega_{i,j}^t = \ln\left(\frac{\Gamma_{i,t-1}}{\Gamma_{j,t-1}}\right), \quad (63)$$

em que  $\Gamma_{i,t-1}$  indica a base de conhecimento tecnológico da firma  $i$  no período passado,<sup>114</sup> o mesmo valendo para  $\Gamma_{j,t-1}$  em relação à firma  $j$ .

A partir da equação (63), a distância tecnológica entre as firmas  $i$  e  $j$  fica definida como um número real, e os valores assumidos serão estritamente positi-



vos para o caso em que  $\Gamma_{i,t-1} > \Gamma_{i,j-1}$ , estritamente negativos para o caso em que  $\Gamma_{i,t-1} < \Gamma_{i,j-1}$  e nulo quando as firmas tiverem base de conhecimento e capacitações tecnológicas iguais, isto é, quando  $\Gamma_{i,t-1} = \Gamma_{i,j-1}$ . A importância dessa medida de *distância tecnológica* só fica mais evidente quando se observa o modo como condiciona a magnitude de  $\lambda_{i,j}^t$ , ou seja, os *spillovers* que a firma  $j$  gera e que estão acessíveis para a firma  $i$  no período  $t$ , como definido por  $h(.)$  e explicitado na equação (62).

### 3.2.7.1. A assimetria dos *spillovers* intra-industriais

Já foi dito que a internalização dos *spillovers*, para uma dada capacidade de absorção de cada firma, é tanto maior quanto mais próximas tecnologicamente forem as firmas, na forma definida na equação (63). Os *spillovers* de P&D ocorrem nas duas direções: a firma  $i$  se beneficia do gasto em P&D efetuado pela firma  $j$  no período prévio, e vice-versa. Mas os *fluxos* de conhecimento tecnológico<sup>115</sup> que podem ser internalizados – e que, por hipótese, estão incorporados em maior ou menor medida nesses esforços de P&D que as firmas realizaram – apenas serão idênticos, supondo-se a mesma capacidade de absorção, ( $\xi_{i,t} = \xi_{j,t}$ ), se ambas detiverem o mesmo nível de conhecimento e capacitação tecnológica nesse período – guardando entre si uma *distância tecnológica* nula – ou, como pode ser visto na Figura 2 (a seguir), se a disparidade entre suas respectivas bases de conhecimento tecnológico fosse de ordem elevada, tal que  $|\Omega_{i,j}^t| \gg n$  para um  $n$  relativamente grande.<sup>116</sup> Nesse caso, os fluxos de *spillovers* entre as duas firmas seriam nulos, já que  $\lambda_{i,j}^t = 0$ . Não sendo esse o caso, duas possibilidades se abrem, a saber:

1)  $\Gamma_{i,t-1} > \Gamma_{i,j-1}$ : se a firma  $i$  possuía no período anterior uma base de conhecimento e de capacitações tecnológicas superior ao da firma  $j$ , os *spillovers* de P&D que fluem de  $j$  para  $i$  serão menores do que aqueles que fluem no sentido inverso, abrindo espaço para um efeito *catching-up*;

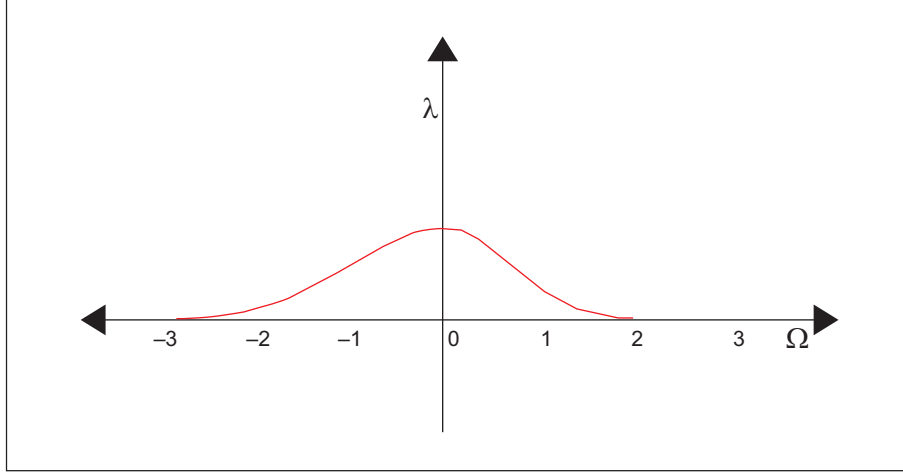
2)  $\Gamma_{i,t-1} < \Gamma_{i,j-1}$ : aplica-se o mesmo raciocínio anterior, de maneira que a firma  $i$  se beneficiaria potencialmente mais dos esforços de P&D da firma  $j$  do que vice-versa.

A razão dessa assimetria – que faz as firmas mais tecnologicamente *avanzadas* se beneficiarem relativamente menos que as que estão relativamente *atrasadas* do ponto de vista de seu conhecimento tecnológico – decorre exatamente da idéia de que a primeira tem potencialmente menos a aprender da segunda. Segue então que

$$\begin{cases} \Omega_{i,j}^t \geq 0 \rightarrow v = k_1 \\ \Omega_{i,j}^t < 0 \rightarrow v = k_2 \\ k_1 > k_2 \end{cases} \quad (64)$$

em que  $k_1 \in (0,1]$ .

FIGURA 2

**Curva de spillovers**

Sobre os valores que podem ser assumidos por  $\lambda_{i,j}^t$  (ver Figura 2), vale fazer ainda duas observações:

a)  $\exists \tau > 0$  arbitrariamente pequeno tal que, ainda que se tenha  $\Gamma_{i,t-1} > \Gamma_{i,j-1}$ , mas sendo uma desigualdade de tal ordem que faça  $\Omega_{i,j}^t < \tau$ , segue-se, pela equação (62) e  $\forall v \leq 1$ , que  $\lambda_{i,j}^t = 1$ ; e

b) de modo análogo,  $\exists \tau' > 0$  arbitrariamente grande tal que, para qualquer que seja a desigualdade entre  $\Gamma_{i,t-1}$  e  $\Gamma_{i,j-1}$ , mas se for uma desigualdade de tal ordem que faça  $|\Omega_{i,j}^t| > \tau'$ , segue-se, pela equação (63), e  $\forall v \leq 1$  na equação (62), que  $\lambda_{i,j}^t = 0$ .

A implicação da situação indicada em (b) é a de que o esforço de P&D que vaza das duas firmas, e que está potencialmente disponível (inclusive para as  $n - 2$  firmas da indústria) para ambas, não é acessível (para a firma tecnologicamente *atrasada*) ou não possui qualquer elemento utilizável (para a firma tecnologicamente *avançada*). A Figura 2 dá uma indicação intuitiva das situações possíveis e da relação que existe entre  $\lambda_{i,j}^t$  e  $\Omega_{i,j}^t$ .

Vale observar que  $\Omega_{i,j}^t = 0$  não implica *spillovers* nulos, mas apenas que eles são da mesma magnitude em ambas as direções, do que se pode extrair, tendo-se em mente inclusive as observações feitas em (a) e (b), o seguinte corolário:

**Corolário 3:** *É preciso existir algum grau de variedade tecnológica entre as firmas para que os spillovers de P&D possam, pela forma assimétrica com que beneficiará as firmas na indústria, ser uma fonte potencial de vantagem competitiva.*

Para o caso exemplar de duas firmas apenas,  $i$  e  $j$ , sabe-se que  $S_{i,t} = \lambda_{i,j}^t \left[ \kappa(\eta_{j,t} E_{j,t-1}) \right]$  e  $S_{j,t} = \lambda_{j,i}^t \left[ \kappa(\eta_{i,t} E_{i,t-1}) \right]$  são os *spillovers* de P&D que as firmas  $i$  e  $j$ , respectivamente, podem internalizar, dependendo de sua capacidade de absorção, uma da outra, no período  $t$ . É fácil ver que, se tais firmas são relativamente homogêneas do ponto do conhecimento e das capacitações tecnológicas que possuem, de modo que  $\left| \ln \left( \frac{\Gamma_{i,t}}{\Gamma_{j,t}} \right) \right| \in (0, \varepsilon)$ , em que  $\varepsilon > 0$  é arbitrariamente pequeno, então os *spillovers* líquidos, pela equação (62) (supondo, a título de exemplo,  $\eta_{i,t} E_{i,t-1} = \eta_{j,t} E_{j,t-1}$ ), serão nulos, de sorte que  $S_{i,t} - S_{j,t} = 0$ . Assim,  $\exists \varepsilon' > \varepsilon$  tal que  $\left| \ln \left( \frac{\Gamma_{i,t}}{\Gamma_{j,t}} \right) \right| \in (\varepsilon, \varepsilon')$ , de maneira que  $S_{i,t} \neq S_{j,t}$ , seja porque  $\lambda_{i,j}^t > \lambda_{j,i}^t$ , seja porque  $\lambda_{i,j}^t < \lambda_{j,i}^t$ , já que, se for  $\left| \ln \left( \frac{\Gamma_{i,t}}{\Gamma_{j,t}} \right) \right| > \varepsilon'$ , para um  $\varepsilon'$  grande, então  $\lambda_{i,j}^t = \lambda_{j,i}^t = 0$ , como já se indicou. Daí segue-se que existe um limite a tal *gap* tecnológico entre as firmas para que os resultados não sejam nulos – que prevaleceria se as firmas tivessem bases de conhecimento muito divergentes.

■

Vale observar, contudo, que é difícil estabelecermos, *a priori*, se os *spillovers* de P&D funcionarão efetivamente como um mecanismo de equalização das capacitações e da base de conhecimento tecnológico das firmas, já que uma firma relativamente *atrasada* pode se beneficiar mais do esforço tecnológico de sua rival do que o inverso. Mas essa é uma conjectura que não pode ser sustentada sem que se observe (1) a capacidade de absorção de ambas as firmas, (2) o grau de codificação do conhecimento tecnológico acumulado e (3) a própria magnitude do esforço de P&D conduzido por ambas no período passado – já que é razoável postular que o esforço de P&D que pode *vazar* seja aquele já realizado, e não o que ainda vai ou está se realizando no período corrente.

Assim, se por um lado as firmas *atrasadas* podem se beneficiar de um efeito *catching-up*, por disporem de um *pool* de conhecimento tecnológico internalizável relativamente maior do que aquele de que podem dispor as firmas que possuem maior base de conhecimento e de capacitações tecnológicas, por outro as firmas que estão mais capacitadas tecnologicamente provavelmente possuem maior capacidade de absorção, de maneira que será maior a parcela efetiva dos *spillovers* de P&D que irá internalizar em sua base de conhecimento – mesmo que *potencialmente* menor do que aquela que está disponível para as firmas *atrasadas*.

### 3.2.7.2. Spillovers de P&D extra-industriais

Definindo os *spillovers* de P&D extra-industriais, estaremos determinando por completo a base de conhecimento tecnológico da firma  $i$  no período  $t$ ,  $\Gamma_{i,t}$ , explicitada na equação (44). Uma série de estudos empíricos, referidos anterior-

mente, indica que a atividade de P&D conduzida por instituições públicas de pesquisa (universidades, laboratórios de pesquisa financiados pelo setor público etc.) e mesmo aquela realizada em outras firmas de outros setores intensivos em P&D seriam também uma fonte importante de conhecimento tecnológico para a firma.<sup>117</sup> Como este é um modelo com uma única indústria, o tratamento será bastante simplificado e exógeno, de maneira que será possível captar a influência desses aspectos na capacidade tecnológica das firmas apenas de forma aproximada.<sup>118</sup> Assim, podemos definir que

$$S_t^p = \zeta \left( m \sum_{i=1}^n s_{i,t-1} E_{i,t} \right); m \gg 1, \quad (65)$$

em que a expressão entre parênteses é uma medida aproximada do esforço de P&D extra-industrial, calculada a partir de um múltiplo  $m$  do próprio esforço médio de P&D das firmas na indústria (calculado segundo seu peso relativo no mercado<sup>119</sup>), e  $\zeta$  é o grau de *focalização* desse P&D, ou seja, o quanto dele é *útil* para as firmas nessa indústria,<sup>120</sup> de modo que  $S_t^p$  é uma medida aproximada do P&D público, como definido anteriormente.

O grau de focalização não apenas leva em conta em que medida um conhecimento relativamente genérico produzido pela atividade de pesquisa básica e aplicada nas universidades e centros de pesquisa públicos pode ser útil para a solução de problemas gerados pela experiência prática da firma em sua atividade de P&D, mas também reflete o grau de acessibilidade dos esforços de P&D privados de firmas em outros setores. E isso não só porque pode não haver qualquer tipo de interseção direta entre suas bases de conhecimento tecnológico, mas também porque parte do conhecimento aí associado, mesmo que nocionalmente útil, pode (1) ser em grande parte tácito; (2) exigir, pela complexidade, conhecimento que a firma não desenvolveu para estar capacitada a absorvê-los; ou ainda (3) estar protegido por algum sistema legal de patentes.

### 3.3. Competência tecnológica: introduzindo cumulatividade tecnológica

Uma vez definido o processo de formação da base de conhecimento das firmas, resta agora estabelecer como serão determinados os resultados de suas estratégias tecnológicas ( $\tilde{d}_{i,t}$ ), referidos na equação (55).

Como foi dito anteriormente, o processo de *busca* do modelo NW não incorporava o fato de que o desempenho tecnológico prévio da firma pode vir a influenciar seu desempenho atual. Sua formulação, apenas de modo indireto e condicionado ainda a uma série de eventos (cf. nota 77), garantia a existência de cumulatividade, mas do tipo associado às respostas pela demanda a mudanças de seus preços resultantes das reduções de custo decorrentes do sucesso tecnológico. Ao introduzir cumulatividade, pretendemos tornar o potencial inovativo ou imitativo (doravante, tecnológico apenas) de uma firma  $i$ , que foi relativamente mais bem-sucedida em

suas estratégias no passado do que a firma  $j$ , maior do que o potencial detido pela firma  $j$ , de modo que

$$\Pr(\tilde{d}_{i,t}^n = 1 \mid \tilde{d}_{i,t-k}^n = 1) > P(\tilde{d}_{j,t}^n = 1 \mid \tilde{d}_{j,t-m}^n = 1) \quad \forall k < m, \quad (66)$$

implicando que o potencial tecnológico da firma  $i$  será tanto maior (supondo  $\Gamma_{i,t} = \Gamma_{j,t}$  uma base) quanto mais recentes forem os resultados positivos de suas estratégias vis-à-vis a firma  $j$ , que, a despeito de poder também deter o mesmo número de sucessos inovativos ou imitativos prévios, os obteve em períodos menos recentes.

Desse modo, introduzir um mecanismo que faça valer a desigualdade em (66), inclusive para um número maior de sucessos no passado, significará tornar o processo de *busca* tecnológica das firmas rigorosamente *path-dependent*; e isso não apenas porque seus resultados passam a depender do histórico tecnológico da firma, mas também porque, combinado com o tipo de cumulatividade que está associada, agora, ao acúmulo de conhecimento e de capacitações tecnológicas, existirá um forte processo dinâmico de realimentação (positiva) de seus resultados e, portanto, do próprio processo de mudança técnica na indústria. A fim de incorporar esses aspectos, é preciso definir uma variável que possa ponderar os resultados das estratégias tecnológicas que as firmas mantiveram, de maneira que, em relação ao período corrente  $t$ , os resultados em  $t-1, t-2, \dots, k, \dots, 1$  tenham uma importância decrescente na formação de um indicador que permita produzir uma correlação serial nos resultados das estratégias tecnológicas ao longo do tempo.

Nesse sentido, é possível definir  $I_{i,t-k}^{\tilde{d}}$  como um indicador da importância relativa do resultado da estratégia tecnológica no  $(t-k)$ -ésimo período – em que  $k = 1, \dots, t-1$  – para o sucesso da *busca* tecnológica no período corrente  $t$  e que possua a seguinte propriedade:

$$I_{i,t-k}^{\tilde{d}} > I_{i,t-2}^{\tilde{d}} > \dots > I_{i,2}^{\tilde{d}} > I_{i,1}^{\tilde{d}}. \quad (67)$$

Embora essas características sejam importantes, é preciso complementá-las com outras, num mecanismo que possa ampliar o potencial tecnológico das firmas além daquele que prevaleceria para uma base de conhecimento tecnológico de certa dimensão e nenhuma estratégia tecnológica bem-sucedida no passado.

Para o cômputo do que será chamado, em seguida, “competência tecnológica” das firmas na indústria, e incorporando as características da expressão na equação (67), vamos definir  $\Phi_{i,t-k}$  como função inversamente proporcional ao tempo, de modo que:

$$\Phi_{i,t-k} = \frac{1}{\sqrt{k}} \left( 1 - \hat{i} \sum_{l=1}^{k-1} \tilde{d}_{i,t-k+l} \right); \quad k = 1, \dots, t-1, \quad (68)$$

em que a expressão entre parênteses<sup>121</sup> indica que o peso do resultado da estratégia tecnológica da firma  $i$  no período  $t-k$  poderá ser menor ( $0 < \hat{i} < 1$ ), além do que tal resultado seria apenas decorrente de sua posição no intervalo de tempo

transcorrido, pelo fato de a firma ter obtido um número maior ou menor de sucessos subseqüentes. Isso estaria indicando que a firma está em nova fase de sua trajetória tecnológica e que, portanto, aquele resultado é relativamente menos importante (dependendo do parâmetro  $\hat{i}$ ), dada sua atual posição na trajetória, até porque as capacitações e o conhecimento tecnológico requeridos para avançar na presente fase (se distinta) podem ser relativamente mais complexos do que o requerido no período  $t - k$ .

Há, portanto, duas idéias contidas na equação (68). Em primeiro lugar, que os sucessos mais recentes são mais importantes para a firma e são indicadores mais robustos do domínio das fases da trajetória tecnológica que percorreu; e em segundo, que é preciso, com base nesse critério, diferenciar a competência tecnológica de firmas que, não obstante as diferenças quanto ao período em que obtiveram sucesso, lograram o mesmo número de sucessos inovativos ou imitativos, de maneira a evitar o viés que existiria caso a *competência tecnológica* fosse dada apenas pelo percentual de *lances* bem-sucedidos.

É possível agora definir o histórico tecnológico da firma  $i$  no período  $t$  como sendo

$$H_t^i = \sum_{k=1}^{t-1} \phi_{i,t-k} \cdot \tilde{d}_{i,t-k}, \quad (69)$$

que assumirá, por exemplo, valor zero se as estratégias tecnológicas da firma  $i$  não foram bem-sucedidas em qualquer período do intervalo de operação  $[1, t - 1]$ . A equação (69) pode ser vista, alternativamente, como o produto interno do  $k$ -ésimo vetor-linha da matriz  $\mathbf{r}(\mathbf{v}_k^i)$ , digamos) pelo vetor  $\underline{\phi}$  (cujos elementos são dados pela equação 68), em que  $\mathbf{r} \in M(2^{t-1}, t - 1)$ , espaço vetorial cujas dimensões,  $2^{t-1}$  e  $t - 1$ , decorrem do fato de que, no início do  $t$ -ésimo período, existem  $2^{t-1}$  combinações de possíveis seqüências de  $t - 1$  resultados (fracasso e sucesso).  $\mathbf{v}_k^i \in i^{t-1}$  é o vetor cujos elementos descrevem a seqüência de resultados da estratégia tecnológica da  $i$ -ésima firma.

Assim, combinando as equações (68) e (69), é possível definir

$$\theta_{i,t} = \frac{H_t^i}{\sum_{k=1}^n \phi_{i,t-k}} \quad (70)$$

como sendo a *competência tecnológica* da firma  $i$  no mesmo período. Esse seria um indicador de competência que reflete o domínio que a firma possui da trajetória tecnológica, em que  $0 \leq \theta_{i,t} \leq 1$ .

### 3.3.1. Primeiro estágio do processo de busca tecnológica: o resultado das estratégias tecnológicas

O processo que define o resultado das estratégias tecnológicas das firmas (inovadoras e imitadoras) segue, na forma, o tratamento existente no modelo NW (cf.

Nelson e Winter, 1982, Cap. 12): um processo estocástico em dois estágios em que, no primeiro, se define o sucesso ou fracasso da estratégia (imitação ou inovação) e, no segundo, a produtividade que será alcançada. Num caso e noutro, as equações são muito semelhantes, e, sempre que possível, nos referiremos apenas a um caso. Vale lembrar também que usaremos a base de conhecimento tecnológico normalizada<sup>122</sup> pela capacidade produtiva da própria firma, de modo que  $\hat{\Gamma}_{i,t} = \Gamma_{i,t}/x_{i,t}$ .

Assim, para o caso das firmas inovadoras e desde que  $\hat{\Gamma}_{i,t} \geq 0$ , segue-se então que

$$\Pr_{\tilde{\Gamma}}(\tilde{\Gamma}_{i,t} < \hat{\Gamma}_{i,t}) = F_{\tilde{\Gamma}}(\hat{\Gamma}_{i,t}) = \frac{\left[ \exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t}) \right]}{\left\{ a + \left[ \exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t}) \right] \right\}}, \quad (71)$$

que indica a probabilidade de a firma inovadora, com uma base ajustada de conhecimento tecnológico no período  $t$  de  $\hat{\Gamma}_{i,t}$ , obter um sucesso inovativo, sendo  $a$  um parâmetro que permite especificar o grau de dificuldade em ser bem-sucedido para uma base de conhecimento relativamente pequena;

$\Lambda_{i,t} = \delta' \left( \frac{\bar{\pi}_{i,t} - \pi_{\min}}{\pi_{\max} - \pi_{\min}} \right)$ ;  $0 < \delta' < 1$ , por sua vez, capta o grau de dificuldade da firma

em obter sucesso inovativo quando se aproxima da fronteira tecnológica – o que é consistente com várias indicações de que o esgotamento relativo das oportunidades tecnológicas torna mais lento ou difícil o progresso técnico, exigindo um acúmulo de conhecimento e de capacitações tecnológicas relativamente maior se comparado com os estágios iniciais da trajetória [cf., por exemplo, Dosi (1988, p. 54) e Dosi (1991b)].

Observe-se que, para a firma que imita, a expressão é a mesma, substituindo-se apenas o parâmetro  $b^n$  por  $b^m$ , de maneira que  $b^n > b^m$ , donde segue-se que, se fizermos a firma  $l$  inovadora e a firma  $p$  imitadora,

$$F_{\tilde{\Gamma}}(\hat{\Gamma}_{l,t}) \geq F_{\tilde{\Gamma}}(\hat{\Gamma}_{p,t}) \quad \forall \quad \hat{\Gamma}_{l,t} = \hat{\Gamma}_{p,t},$$

em que  $\tilde{\Gamma}$  é o valor da base de conhecimento da firma  $i$  que seria necessário no período  $t$  para produzir um sucesso em sua respectiva estratégia tecnológica.

Mesmo que um e outro tipo de firma possam se beneficiar mutuamente do esforço tecnológico de firmas que possuem direcionamento distinto do seu,<sup>123</sup> é razoável admitir que a probabilidade inicial de elas obterem sucesso em suas respectivas estratégias é diferente em um caso e noutro, sendo maior no caso das firmas inovadoras – daí a diferença nos parâmetros  $b^n$  e  $b^m$ . Há duas razões inter-relacionadas para tanto: (1) no caso das firmas que procuram inovar (*stricto sensu*), os resultados não são tão diretamente acessíveis e por isso mesmo estão expostos a uma incerteza maior (ainda que inicialmente): o sucesso inovativo não garante que

a firma irá obter um equipamento cuja produtividade seja maior do que aqueles que já utiliza; e (2) as firmas que inovam comprometem um volume proporcionalmente maior de recursos com sua atividade de P&D. Desse modo, por (1) e (2), é a diferença na probabilidade de obter sucesso em sua estratégia, *vis-à-vis* o caso das firmas imitadoras, que justifica e torna legítima a existência de firmas cujos processos de *busca* seguem orientações distintas [cf. Nelson e Winter (1982, Caps. 12 e 13) e Caccamo (1996)].

Para o caso em que as firmas  $i$  e  $j$  guardam a mesma distância da fronteira tecnológica e compartilham do mesmo tipo de estratégia tecnológica, fica valendo a seguinte desigualdade:

$$\Pr(\tilde{d}_{i,t} = 1 | \hat{\Gamma}_{i,t} = \Gamma^i) > \Pr(\tilde{d}_{j,t} = 1 | \hat{\Gamma}_{j,t} = \Gamma^i), \quad (72)$$

desde que  $\theta_{i,t} > \theta_{j,t}$ .

Vale lembrar ainda que a equação (71) tanto contempla o mesmo tipo de cumulatividade do modelo NW,<sup>124</sup> como também possui as seguintes propriedades necessárias:

$$0 \leq F_{\hat{\Gamma}}(\hat{\Gamma}_{i,t}) \leq 1, \quad (73)$$

$$\lim_{\Gamma_i \rightarrow +\infty} F_{\hat{\Gamma}}(.) = 1 \text{ e } \lim_{\Gamma_i \rightarrow -\infty} F_{\hat{\Gamma}}(.) = 0, \quad (74)$$

$$\hat{\Gamma}_{i,t} > \hat{\Gamma}_{i,t}^i \rightarrow F_{\hat{\Gamma}}(\hat{\Gamma}_{i,t}) \geq F_{\hat{\Gamma}}(\hat{\Gamma}_{i,t}^i). \quad (75)$$

Assim, de modo análogo ao que foi feito em Possas *et al.* (2001, p. 358), o resultado (sucesso ou fracasso) é definido como uma variável aleatória discreta que assume valor 1 ou 0, conforme o seguinte processo:

$$\tilde{d}_{i,t} = 1 \text{ se } Z \leq \frac{\exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t})}{a + \left[ \exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t}) \right]}, \quad (76)$$

ou

$$\tilde{d}_{i,t} = 0 \text{ se } Z > \frac{\exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t})}{a + \left[ \exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t}) \right]}, \quad (77)$$

em que  $Z \sim U[1,0]$ . Vale lembrar que o sucesso inovativo permite obter uma tecnologia cuja produtividade não é previamente conhecida, sendo determinada como uma variável aleatória com distribuição lognormal (mais sobre isso adiante). O sucesso da firma imitadora permite acesso à tecnologia disponível com maior produtividade na indústria – isto é, na fronteira tecnológica *atual* do setor, mas não necessariamente na fronteira tecnológica que pode ser alcançada.



### 3.3.2. Segundo estágio do processo de busca tecnológica: endogeneizando as trajetórias tecnológicas das firmas

Entre as limitações do modelo Nelson-Winter que se pretende superar, há ainda a questão da exogeneidade das trajetórias tecnológicas das firmas, em decorrência da ausência de um processo de exploração das oportunidades tecnológicas que tornava as firmas inovativas – e, por extensão, as firmas imitadoras – apenas seguidoras da fronteira tecnológica. Tendo-se definido a base de conhecimento e as capacitações tecnológicas das firmas, é possível manter a forma como o segundo estágio do processo de busca é feito no modelo NW e dar uma solução relativamente simples para o problema. Trataremos de apresentá-la a seguir.

Sejam  $\pi_{i,t}^M$  e  $\pi_{i,t}^N$  os níveis de produtividade que a firma imitadora e a firma inovadora, respectivamente, poderão obter no período  $t$ , de modo que, se a firma imitadora obtiver um sucesso imitativo no período corrente, então  $\tilde{d}_{i,t}^m = 1$ ; assim, a produtividade da firma imitadora no período  $t$  será dada por:

$$\pi_{i,t}^M = \max_{i,j} \{ \pi_{i,j,t}^0 \} \quad \forall \quad i = 1, \dots, n, \quad (78)$$

em que  $\pi_{i,j,t}^0$  é a produtividade inicial do equipamento ou da tecnologia  $j$  da firma  $i$  no período  $t$ .

No caso da firma inovadora, o sucesso no primeiro estágio,  $\tilde{d}_{i,t}^n = 1$ , não garante que o nível de produtividade a ser obtido será necessariamente superior, pela simples razão de que seu resultado é também definido de forma estocástica – uma representação analítica que pretende captar a incerteza (maior) de seus resultados. A produtividade a ser obtida pela inovação, tendo sido a firma bem-sucedida no primeiro estágio do processo de busca, é determinada por

$$\pi_{i,t}^N \sim \text{LN}[\mu, \sigma^2]. \quad (79)$$

No entanto, a média dessa distribuição não será determinada como no modelo NW (ver Seção 2.2.4.1 deste trabalho), que pressupunha não apenas um crescimento contínuo das oportunidades tecnológicas (ainda que não existisse qualquer indicação de mudança de paradigmas), mas também que as firmas inovativas (e as imitadoras mais fortes) seguissem, ainda que com alguma defasagem,<sup>125</sup> os picos de produtividade dados pela fronteira tecnológica. Tal fronteira, sob a justificativa de um contínuo progresso científico, crescia exógena e continuamente conforme a taxa de crescimento da média da distribuição escolhida (*lognormal*) para especificar os resultados do segundo estágio do processo de busca das firmas que inovam. Como afirmamos antes, sem um processo de transição (ou exploração da produtividade potencial), essa exogeneidade se transmitia diretamente para o ritmo de crescimento da fronteira de produtividade das firmas.

Desse modo, a endogeneização das trajetórias passa pela subordinação da velocidade e direção da trajetória tecnológica que a firma segue ao conjunto de

conhecimentos e capacitações tecnológicas acumulados ao longo de seu período de atividade; é a especificação da média que permitirá que o ritmo do progresso técnico das firmas seja endogeneizado, passando a depender de variáveis que são determinadas a partir de seu próprio desempenho e de suas estratégias tecnológicas.

A média da distribuição na equação (79) passa a ser, então,<sup>126</sup>

$$\mu(\hat{\Gamma}_{i,t}) = \frac{\pi_{\max} \pi_{\min}}{\pi_{\min} + (\pi_{\max} - \pi_{\min}) \exp(c - \beta \hat{\Gamma}_{i,t})}, \quad (80)$$

observando-se que

$$\mu(\Gamma_{i,t}, t) = \pi_{\min} \quad \forall \quad \hat{\Gamma}_{i,t} \leq 0 \quad (81)$$

e também que

$$\lim_{\Gamma_{i,t} \rightarrow +\infty} \mu(\hat{\Gamma}_{i,t}, t) = \pi_{\max}; \quad (82)$$

desse modo, agora teremos que

$$\log(\pi_{i,t}^n) \sim N(\mu, \sigma^2), \quad (83)$$

valendo observar que o formato assumido pela trajetória tecnológica (cf. Figura 1) das firmas inovadoras (logo, das imitadoras) define basicamente três fases:<sup>127</sup>

1) uma fase inicial de assimilação das oportunidades (cuja extensão pode ser ajustada através do parâmetro  $c$ ), com retornos relativamente constantes, em que o acúmulo de conhecimento e capacitações tecnológicas ainda é relativamente incipiente;

2) uma fase intermediária, na qual há retornos crescentes e em que variações relativamente pequenas da base de conhecimento da firma podem gerar resultados significativos (*caeteris paribus*, o parâmetro  $\beta$  permite tornar mais ou menos acentuado esses ganhos em termos de produtividade), se comparados com a fase anterior; e

3) uma fase final,<sup>128</sup> em que há praticamente um esgotamento das oportunidades tecnológicas e as mudanças na base de conhecimento não produzem resultados superiores àqueles já obtidos.

Nesse aspecto, o modelo aqui proposto, até em função do seu escopo mais limitado, é menos ambicioso, supondo uma fronteira tecnológica dada que as firmas, mediante o acúmulo de conhecimento e de capacitações tecnológicas essencialmente fundadas em seu esforço de P&D, vão explorar progressivamente, mas em ritmos específicos a cada firma. Parece razoável, como sugere Winter (1984), supor que a mudança da fronteira tecnológica opera em um horizonte de tempo suficientemente longo para ser tratada, em primeira aproximação e numa estrutura unissetorial como a presente, como exógena e fixa.

### 3.3.3. O viés do sucesso tecnológico: imitadoras versus inovadoras

É interessante avaliar regularmente o desempenho relativo das firmas a partir, tão-só, do resultado das estratégias tecnológicas obtido na indústria num dado período. A proposta que segue pretende captar o tipo de P&D relativamente mais bem-sucedido na indústria a cada período.

Sejam  $S^n(t)$  e  $S^m(t)$  o número de sucessos inovativos e imitativos no período  $t$ , respectivamente; a partir daí, suponhamos que

$$S^n(t) + S^m(t) = 2T ; T \in \mathbb{R}^+, \quad (84)$$

donde é possível definir uma variável  $\tilde{V}(t)$  tal que

$$\tilde{V}(t) = \frac{S^n(t) - S^m(t)}{2}. \quad (85)$$

É fácil notar agora, pela equação (84), que  $-T \leq \tilde{V}(t) \leq T$ , pois

$$S^n(t) = 2T - S^m(t), \quad (86)$$

que, substituindo na equação (85), faz

$$\tilde{V}(t) = \frac{2T - S^m(t) - S^m(t)}{2} = T - S^m(t). \quad (87)$$

Daí resulta que

$$S^m = 0 \rightarrow \tilde{V}(t) = +T$$

e que, pela equação (86),

$$S^n(t) = 0 \rightarrow S^m(t) = 2T \rightarrow \tilde{V}(t) = -T.$$

Observe-se também que

$$S^n(t) = T + \tilde{V}(t) \quad (88)$$

e

$$S^m(t) = T - \tilde{V}(t). \quad (89)$$

A equação (89) decorre facilmente da (87). Quanto à equação (88), sabendo-se a partir da (86) que  $S^m(t) = 2T - S^n(t)$ , e a partir da (85), pode-se escrever que

$$2\tilde{V}(t) = S^n(t) - S^m(t) = S^n(t) - (2T - S^n(t)),$$

donde segue-se que

$$2\tilde{V}(t) = 2S^n(t) - 2T \rightarrow \tilde{V}(t) = S^n(t) - T,$$

resultando assim  $S^n(t) = T + \tilde{V}(t)$ , como se queria mostrar.

O viés de P&D no setor no período  $t$  pode, então, ser representado pela seguinte variável:

$$V(t) = \frac{\tilde{V}(t)}{T} = \frac{S^n(t) - S^m(t)}{2T}, \quad (90)$$

donde segue-se que

$$-1 \leq V(t) \leq 1. \quad (91)$$

É possível estabelecer agora a seguinte tipificação:

$V(t) = 1$ : apenas os esforços tecnológicos de inovação foram bem-sucedidos;

$V(t) = -1$ : apenas os esforços tecnológicos de imitação foram bem-sucedidos;

$V(t) = 0$ : o número de *lances* (*draws*) inovativos e imitativos bem-sucedidos foram idênticos.

Por fim, há uma ressalva: uma comparação intertemporal desse indicador deve ser feita apenas do ponto de vista qualitativo, já que o número e o tipo de estratégias tecnológicas que serão bem-sucedidas em cada período ( $T$ ) não são fixos, e seus resultados são aleatórios e dependem de uma série de determinações interdependentes entre as firmas.

## 4. Dinâmica industrial em condições de cumulatividade tecnológica: simulações do modelo PK revisitado

---

### 4.1. Natureza e objetivo do experimento de simulação

Este capítulo pretende apresentar e analisar os resultados dos exercícios de simulação do modelo PK, modificado em seu *módulo* de busca tecnológica, adotando-se em seu lugar o modelo desenvolvido anteriormente. Já foi mencionado que o modelo de busca tecnológica proposto anteriormente não pode possuir uma dinâmica própria sem que seja coligado a outros elementos do processo competitivo (formação de preços, produção etc.); e isso por que a série de especificações analíticas que nele constam e que buscam representar o processo de mudança técnica (seja por meio de inovação, seja por imitação) estão essencialmente ligadas ao acúmulo de conhecimento e capacitações tecnológicas e, por extensão, aos esforços de P&D da firma. Desse modo, a operação do modelo depende de outras variáveis (receita de vendas, preço etc.) determinadas no âmbito das decisões de produção e pelas próprias condições iniciais de demanda do mercado.

A idéia aqui é avaliar preliminarmente a trajetória de algumas variáveis características da dinâmica industrial a partir de uma extensão do modelo PK que, a nosso ver, incorpora alguns elementos característicos do processo de mudança tecnológica (e.g., a correlação serial da capacidade inovativa ou imitativa, *spillovers* de P&D, fases distintas no processo de oportunidades tecnológicas) e, mais geralmente, dos padrões de competição do tipo schumpeteriano, em que mover preços e quantidades não são as únicas, nem sequer as principais, estratégias de concorrência. Obviamente, isso não quer dizer que as firmas, exercendo sua competitividade, não recorram a reduções de preços, mas apenas que, no modelo PK (como em alguns dos modelos evolucionários que o precederam), isso está rigorosamente subordinado a dois elementos. Em primeiro lugar, ao sucesso de suas estratégias tecnológicas, cujo resultado, em termos de produtividade, pode ser (já que incerto) suficiente para permitir uma redução de preço – o que não necessaria-

mente ocorrerá se, por exemplo, a firma decide repassar as vantagens de custo completamente para suas margens de lucro (*markup*). Em segundo, às condições vigentes de concorrência, que podem bloquear antecipadamente qualquer estratégia mais agressiva de preço, sob pena de comprometimento de sua posição relativa e mesmo de sua permanência no mercado a médio e longo prazos. Trata-se, portanto, de um processo decisório interno à firma e sujeito às condições estruturais do mercado, já que tudo se passa em um ambiente competitivo do tipo concorrência monopolística, com agentes fortemente interdependentes. O poder da firma em repassar vantagens de custo para seu *markup* será, com efeito, tanto maior quanto maior for sua participação de mercado no período corrente, o que não significa que venha a ser um poder arbitrariamente grande ou mesmo irrevogável – ainda que a prazo relativamente curto.

Contudo, uma apreciação do potencial teórico do modelo PK com o processo de busca tecnológica proposto anteriormente, *vis-à-vis* sua primeira versão com busca tecnológica, próxima da que foi feita no modelo Nelson-Winter, exige que os resultados preliminares obtidos originalmente estejam também aqui presentes. Portanto, a fim de complementar, mais do que reproduzir, o que já fora dito e apresentado no Capítulo 2 sobre o modelo PK e seus principais resultados, parece adequado apresentar com brevidade as trajetórias de algumas variáveis obtidas nas simulações. A partir de algumas variáveis selecionadas,<sup>129</sup> será feita uma análise comparativa dos resultados obtidos pelo modelo PK em diferentes condições de busca tecnológica – ou seja, com e sem cumulatividade tecnológica –, mas a partir de um mesmo conjunto de parâmetros iniciais (ver Apêndice B), ao menos naquilo que será compartilhado – os módulos de produção e preço e de investimento (cf. Apêndice A) – e que, dado nosso propósito, não interessa no momento modificar.<sup>130</sup>

Entretanto, a apresentação propriamente dos resultados obtidos por simulação – por envolver um instrumento de análise que, conquanto seja bastante difundido na literatura evolucionária, ainda é pouco utilizado pelos trabalhos em economia que também lidam com modelos – requer algumas observações e comentários preliminares de natureza metodológica, embora sem a intenção de esgotar o tema. Assim, comentaremos inicialmente sobre a funcionalidade das simulações e seu *status* metodológico enquanto instrumento de análise de modelos dinâmicos; em seguida, discutiremos a importância das especificações temporais (dentro) do modelo na avaliação dos resultados obtidos nas simulações.

#### **4.1.1. Teste e validação dos modelos evolucionários: status metodológico dos exercícios de simulação**

Há, fundamentalmente, duas razões que motivam o uso das simulações. A primeira está na possibilidade de observar e avaliar com detalhe as implicações intertemporais de uma representação teórico-analítica de um sistema econômico, ou de uma parte dessa representação, na qual seja possível não apenas postular relações complexas entre um número arbitrariamente grande de variáveis, mas também observar fenômenos dinâmicos emergentes da interação desses elementos e

que, de outro modo, seriam dificilmente deduzidos de representações estáticas. A segunda é a possibilidade de realizar uma análise dinâmica sem que isso implique fazer uso de hipóteses demasiadamente simplificadoras que possam descaracterizar o(s) objeto(s) em análise. Nesse caso, o uso das simulações não apenas permite reproduzir e analisar cenários que, apenas com muita raridade, teriam a possibilidade de ser empiricamente observados, como também dispensa a busca por soluções matemáticas sistêmicas que sejam generalizáveis. E dispensa, de um lado, porque incorpora elementos estocásticos que tornam virtualmente infinito o conjunto de soluções mutuamente consistentes entre as equações do modelo e, de outro, porque o interesse está mesmo na obtenção de trajetórias e suas características mais evidentes, logo, na *evolução* de estados pelos quais passam os agentes (e sua estrutura de referência, e.g., a indústria) a cada período. Em suma, o foco da análise está no processo de *transição entre* estados (o estabelecido inicialmente e aquele em que se encontra o sistema  $n$  períodos depois, podendo  $n$  ser definido arbitrariamente).

Assim, as simulações funcionariam como uma espécie de laboratório que permite avaliar as implicações de certas condições iniciais – e de certas hipóteses teóricas traduzidas nos parâmetros ou formas funcionais adotadas no modelo – sobre as trajetórias intertemporais dos vários componentes quantificáveis do modelo. É a interdependência e a interação complexa dessas hipóteses (ou de suas implicações sobre as variáveis do modelo) que abrem espaço para a ocorrência de eventos imprevistos<sup>131</sup> pela teoria utilizada e que podem não constar na lista de *fatos estilizados* colecionados pela literatura empírica relativa ao tema ou objeto em análise – embora o interesse primordial não esteja em obter resultados intrigantes (*puzzles*), mas em obter regularidades que emergem endogenamente da dinâmica do comportamento dos agentes descritos pelo modelo.<sup>132</sup> Apesar de ser verdade que as simulações “não são melhores do que o modelo”, delas podem manifestar-se eventos e propriedades que podem ter sido produzidas por uma interação complexa e conjunta dos elementos e que muito dificilmente podem ser presumidas ou extraídas com confiança a partir da dedução de condições-limite.

Como os modelos formais utilizados nas simulações, até por definição, não podem ser vistos como uma representação fidedigna, ainda que extensivamente detalhados, do funcionamento do sistema econômico, ou de uma parte dele – simplesmente porque elementos de natureza extra-econômica podem estar influenciando seu funcionamento –, as implicações de certas hipóteses que as simulações permitem inferir devem ser tomadas com cautela para fins de política econômica *latu senso* – o que, de resto, pode valer também para a tomada de decisões baseadas em estimativas de parâmetros ou variáveis obtidas a partir de exercícios econométricos. Em outras palavras, a *veracidade empírica*, maior ou menor, de um resultado que está fortemente associado a uma hipótese depende exclusivamente do quão fielmente a estrutura formal do modelo – seus elementos e interações que postula e permite – reproduz regularidades e eventos observados. Mas essas são propriedades que podem ser estabelecidas apenas na fase de formalização do modelo, antecedendo, portanto, a fase de simulações.

Falar sobre *veracidade empírica* dos resultados obtidos por simulação remete, necessariamente, à discussão de como inferir algum grau de validação dos modelos a partir dos exercícios de simulação. Vale observar, antes, que a própria formalização do

modelo já fornece uma compreensão maior e uma série de intuições importantes sobre o objeto modelado. Como observa Valente (1999, vol. II, p. 6), as simulações permitem uma análise mais clara e precisa das cadeias de causalidades envolvidas no funcionamento do modelo – que emergem, deve acrescentar-se, para além daquelas primária e diretamente postuladas.<sup>133</sup>

Uma vez realizadas simulações de um modelo dentro do espaço paramétrico relevante<sup>134</sup> das variáveis envolvidas, surge a questão de como, a partir desses resultados, avaliar a significância teórica do modelo que as originou – o que não deve, a princípio, ser confundido com uma avaliação da *teoria*.<sup>135</sup> Sobre essa questão, Valente (1999, vol. II, p. 8) postula que a avaliação dos modelos deve ser feita a partir do potencial que a cadeia de eventos produzidos pelas simulações tem na explicação de eventos reais:

*How must be assessed the results of a simulation model? [sic] In general, a modeller considers whether the same chain of events produced by the simulation can be applied to explain the real-world phenomena as they can be observed. (Ibidem, p. 9.)*

Contudo, esse modo de avaliação é logicamente algo frágil, por uma razão simples: a observação de um fenômeno dificilmente é neutra, de modo que é sempre feita sob a orientação de alguma teoria (uma hipótese *apriorística*) ainda que muito rudimentar. Assim, utilizar as cadeias de eventos produzidas pelos exercícios de simulação para explicar “fenômenos do mundo real como eles podem ser observados” não é outra coisa senão fazer um confronto de teorias – a que está por trás das cadeias de eventos produzidas pelos exercícios de simulação e aquela que governa a observação dos fenômenos e que, no presente caso e em geral, trata-se rigorosamente das mesmas teorias, resultando provavelmente em um exercício de autoconfirmação.<sup>136</sup>

Uma sugestão de avaliação dos modelos a partir dos resultados das simulações pode ser a observação do grau de simetria em que os resultados das simulações reproduzem minimamente fatos estilizados bem documentados acerca de eventos relacionados ao objeto em análise (e.g., comportamento dos preços em um setor intensivo em P&D, relação da associação entre os ciclos econômicos e os gastos governamentais etc.). Assim, a comparação de séries históricas de certa variável (ou de suas propriedades) com as séries análogas obtidas através dos exercícios de simulação pode ser, a partir do grau de superposição maior ou menor que guardem, uma forma de avaliação do *poder explicativo* dos modelos.<sup>137</sup> O tema é ainda pouco discutido e estas observações pretendem apenas indicar que as simulações são meios logicamente adequados de fornecer indicações sobre a validade de modelos formais que procuram fornecer uma representação de certo processo ou fenômeno econômico.

#### **4.2. Ambiente tecnológico e características estruturais da indústria representada nas simulações**

Parece adequado fazer uma caracterização mínima dos tipos de setores e do ambiente tecnológico que as simulações do modelo PK representariam, seja na



versão original, seja na versão modificada aqui proposta.<sup>138</sup> Mas deve ficar claro que a adoção de um quadro estrutural de referência para as simulações não significa um estreitamento teórico do modelo em si e também não impede que uma ampliação ou mudança desse quadro de referência seja feita pela *calibração* de certos parâmetros.

O propósito desta seção é dar uma idéia geral do tipo de indústria e de regime tecnológico aos quais se referem as simulações a seguir; no primeiro caso, a referência principal é a taxonomia setorial elaborada por Pavitt (1984); no segundo, são as dimensões básicas de um regime tecnológico como proposto por Malerba e Orsenigo (2000).

Do ponto de vista tecnológico, as principais características do setor modelado são:

a) As oportunidades inovativas são relativamente elevadas e refletem as possibilidades de integração de conhecimentos tecnológicos externos à firma e ao próprio setor.

b) O progresso tecnológico é fortemente cumulativo, tanto pelo efeito positivo que a experiência prévia das firmas desempenha no sucesso presente de suas estratégias tecnológicas, quanto pelo fato de que a base explorável de conhecimentos que utiliza é cumulativa. A combinação desses dois aspectos dá origem a um regime tecnológico que cria condições de *hipercumulatividade*. Vale lembrar que as vantagens associadas ao seu histórico tecnológico (maior probabilidade de obter um sucesso tecnológico no presente), na ausência de novos sucessos, tendem a se diluir gradualmente com o passar do tempo.

c) A base de conhecimento utilizada na atividade de busca tecnológica (inovação e imitação) tem um grau de codificação tanto mais elevado quanto mais mais próxima da fase de esgotamento da trajetória tecnológica esteja a firma.

d) As condições de apropriabilidade são relativamente baixas: tanto há possibilidades significativas de imitar técnicas de firmas inovativas bem-sucedidas, quanto há difusão de parte do esforço de P&D das firmas.

Já do ponto de vista da estrutura de mercado, as principais características do setor modelado são:

a) As posições competitivas das firmas são definidas basicamente a partir de seus preços – embora o atraso na entrega das encomendas possa afetar de modo adverso sua posição relativa. Como a dinâmica dos preços depende das vantagens de custo que a obtenção de tecnologias mais eficientes pode criar, sua competitividade relativa acaba dependendo, em última instância, de suas estratégias tecnológicas.

b) O setor com que opera o modelo combina elementos de setores *scale-intensive* com elementos do *supplier-dominated*: é sempre possível destacar um ou outro elemento que, segundo a taxonomia, pertenceria a um setor diferente daqueles que reúnem, essencialmente, o maior número de elementos característicos compatíveis com o modelo proposto; daí se falar em elementos “*science-based*”

[Possas et al. (2001, p. 334)], já que a taxa de crescimento da “produtividade latente” era explicada exclusivamente pelos avanços científicos. Mas é preciso lembrar que no setor *science-based* o investimento em busca inovativa é alto e uma elevada proporção de suas inovações, estritamente de produtos [Pavitt (1984)], é utilizada pelo setor de bens de capital e ou setor de bens intermediários. Pode ser considerado também um setor *scale-intensive* pelo tipo de inovação predominante (de processos), pelas significativas economias de escala e pela integração vertical com o setor de máquinas e equipamentos, que torna estratégico o desenvolvimento de uma base de conhecimento e capacitações tecnológicas, a partir de seu investimento em P&D, para desenvolver seus próprios processos produtivos e explorar oportunidades tecnológicas. Do tipo de setor *scale-intensive*, há ainda o caráter incorporado (nas máquinas e equipamentos) da mudança técnica e as economias de escala associadas à produção e à atividade de P&D.

### 4.3. Análise comparativa do modelo PK

Os resultados das simulações pretendem indicar e comparar as trajetórias obtidas no modelo PK (i) com um processo de busca tecnológica à la Nelson-Winter e (ii) com um processo de busca como o proposto no capítulo anterior – de outro modo, com regimes tecnológicos diferentes. A indústria é composta de oito firmas, divididas em dois grupos – quatro firmas inovadoras e quatro firmas imitadoras –, em que a sua demanda cresce 1% por período. À exceção dessa orientação quanto à incorporação de tecnologia, as firmas compartilham as mesmas características iniciais. As numeradas de 1 a 4 são inovadoras e gastam 6% do faturamento em P&D; as numeradas de 5 a 8 são imitadoras e gastam 3% em P&D. Considera-se que cada período de produção equivale a um trimestre, de maneira que serão feitas simulações para 100 períodos de produção (*time-steps* do modelo), ou 25 anos.

Vários parâmetros assumem valores definidos nos primeiros exercícios de simulação do modelo PK (ver Apêndice B), compreendendo basicamente as estratégias de preço das firmas (o peso que atribuem ao *markup* desejado e ao preço médio da indústria na formação de seus preços) e a magnitude do efeito aprendido em incrementar a produtividade dos equipamentos que a firma utiliza para além do nível inicial. Partindo dessas mesmas condições-padrão, apresentaremos as trajetórias das variáveis que tradicionalmente indicam o desempenho econômico das firmas na indústria e a evolução do grau de concentração desta.

Como os resultados são preliminares e ainda muito gerais, o interesse maior das simulações será o de observar como as firmas que seguem estratégias tecnológicas distintas, inclusive quanto à magnitude de recursos envolvidos em um e outro tipo de P&D, terão seu desempenho modificado ao longo do tempo em ambas as versões do modelo PK. Em particular, importa verificar como a introdução de *spillovers* de P&D e de cumulatividade tecnológica – além daquela que deriva do efeito que o sucesso pode ter sobre a dimensão<sup>139</sup> de seu esforço de P&D e, por extensão, sobre sua base de conhecimento – pode alterar o desempenho das firmas inovadoras e imitadoras e

o grau de concentração na indústria. Outras simulações mais específicas, avaliando o impacto dos parâmetros que definem o grau de codificação e o ritmo de *depreciação* da base de conhecimento da firma, deverão ser feitas posteriormente. Para o propósito desta dissertação, é razoável que a análise comparativa fique restrita ao que de comum e mais geral existe em ambos os modelos de *busca* utilizados.

Na versão cujo processo de busca segue a formalização do modelo Nelson-Winter, observaremos o caso do regime tecnológico *science-based*, em que a fronteira tecnológica (ou, segundo os autores, a “produtividade latente”) cresce 1% por período de produção; ou seja, a média da distribuição lognormal, que indicará a produtividade que a firma inovativa bem-sucedida poderá obter, cresce 1% a cada período.<sup>140</sup> Na versão do PK, cujo processo de busca segue o modelo desenvolvido anteriormente, observaremos o caso do regime tecnológico que chamaremos “hipercumulativo”, já que combina a cumulatividade que deriva dos “*market feedbacks*” com a cumulatividade tecnológica. Trata-se, a rigor, de um regime no qual a fronteira tecnológica, em termos de produtividade, é fixa e distante da posição inicial das firmas, mas a trajetória que elas percorrem explorando as oportunidades existentes, e visando alcançar o potencial produtivo que a fronteira tecnológica representa, é endogenamente determinada por sua base de conhecimento.

#### 4.3.1. Regime tecnológico *science-based*

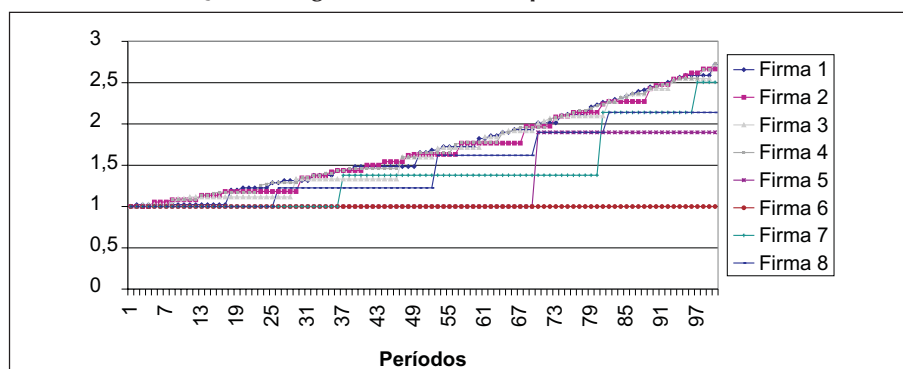
##### a) Produtividade

A produtividade apresentou trajetória crescente, na forma de *degraus*. Nos períodos em que a produtividade permaneceu constante, as firmas não obtiveram nenhum sucesso inovativo ou imitativo, que tendem a impulsionar a produtividade.

Observe-se que as firmas inovadoras seguem os deslocamentos da fronteira tecnológica com pequena defasagem, enquanto as firmas imitadoras, embora alcancem a melhor tecnologia (*best practice*) existente no setor, devido ao efeito

FIGURA 3

Simulações no regime *science-based*: produtividade das firmas



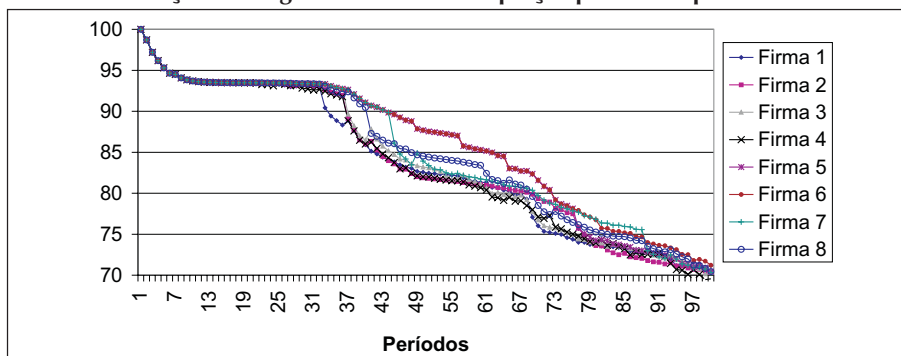
*learning by doing*, obtêm uma produtividade que é inferior ao nível efetivamente usufruído pelas firmas inovadoras imitadas.

#### b) Preços

As simulações realizadas indicaram que os preços exibem, como esperado, trajetórias declinantes, com destaque para as trajetórias das firmas inovadoras, que são relativamente mais acentuadas (Figura 4). Isso decorre do fato de as inovadoras darem peso relativamente maior para seu *markup* desejado na formação de seus preços (cf. Apêndices A e B) e, como possuem parcela maior do mercado, imprimem seu ritmo ao preço médio da indústria, ao qual vão se acomodando as firmas imitadoras. A convergência entre os preços vai se acentuando porque o modelo PK utiliza uma regra em que o *markup* desejado das firmas com posição no mercado relativamente pior – e esse é o caso das firmas imitadoras, a partir de certo período – é igualado ao *markup* efetivo médio do último período, de maneira que sua regra de preço vai cada vez mais reproduzindo as condições médias vigentes no mercado, majoritariamente influenciadas pelas firmas inovadoras.

FIGURA 4

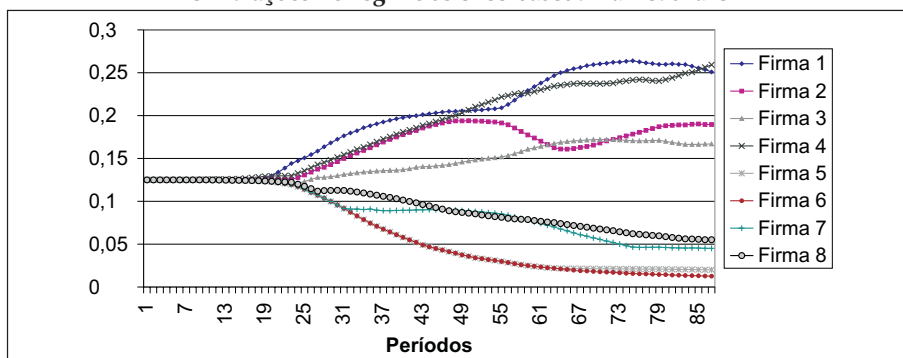
#### Simulações no regime *science-based*: preços praticados pelas firmas



#### c) Market share

As firmas inovadoras obtiveram um *market share* relativamente mais elevado, beneficiando-se de sua estratégia tecnológica. O desempenho desse grupo de firmas, não obstante as diferenças entre elas, foi superior não apenas porque seu esforço tecnológico foi maior<sup>141</sup> em relação ao grupo de firmas imitadoras, mas porque sua regra de preço lhes confere, por hipótese, uma posição de liderança (dando maior peso ao preço desejado – 70%, enquanto as imitadoras atribuem 30%), permitindo que o sucesso de suas estratégias tecnológicas (e as vantagens de custo que faculta) seja explorado com maior intensidade. Isso possibilita, por sua vez, que suas vantagens em preços consolidem uma posição relativamente melhor no mercado, obtida inicialmente. Observe-se que não há reversão significativa das trajetórias desenhadas a partir de certo período. A Figura 3, que mostrou a trajetória da produtivi-

FIGURA 5

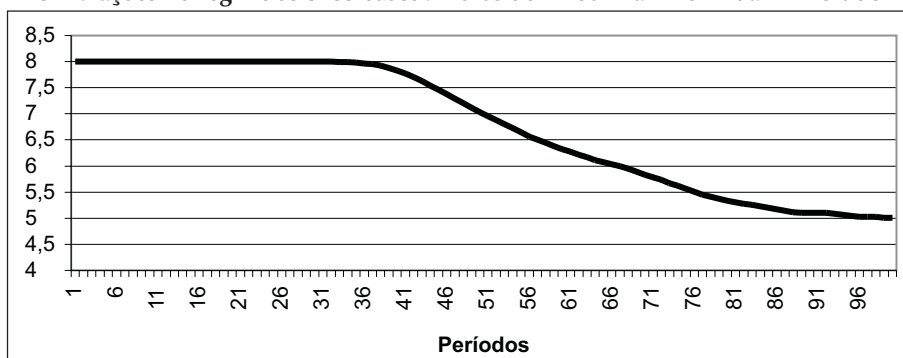
Simulações no regime *science-based*: *market share*

dade das firmas, deixa claro por que as imitadoras praticam estratégias de preço acomodáticas: a posição tecnológica inferior *vis-à-vis* à das firmas inovadoras torna mais adequado ser *seguidora* de preços do que ensaiar posições mais agressivas, sob pena de sacrificar sua posição e mesmo sua sobrevivência no mercado.

d) Grau de concentração: HHI (índice de Hirschman-Herfindahl invertido)<sup>142</sup>

Em face de a taxa de crescimento da fronteira tecnológica ser relativamente baixa (1%), o grau de concentração do mercado permanece relativamente estável, como pode ser visto na Figura 6. Como foi indicado nas simulações preliminares desse modelo, o crescimento da fronteira tecnológica aumentava o grau de concentração da indústria em benefício das firmas inovadoras – já que, por definição, são as únicas capazes de, a depender dos resultados de suas estratégias tecnológicas, alcançar sistematicamente a fronteira tecnológica. O aumento dessa taxa tende a aumentar o *lag* tecnológico entre imitadoras e inovadoras e criar uma *bifurcação* nas trajetórias de ambas, em termos de *market share*, em favor das inovadoras.

FIGURA 6

Simulações no regime *science-based*: índice de Hirschman-Herfindahl invertido

Esse resultado será mais nítido quando obtivermos sua evolução em uma indústria sob um regime tecnológico distinto, que premia no presente as firmas bem-sucedidas no passado, para além das vantagens que pode ser obtida ao se usufruírem tecnologias mais eficientes. Isso significa que as firmas que forem bem-sucedidas com maior rapidez, por um lado, poderão construir vantagens competitivas irreversíveis, mas, por outro, o efeito inverso resulta dos *spillovers* de P&D intra-industriais, que podem chegar a reverter a trajetória de algumas firmas inicialmente em desvantagem, ainda que isso possa não implicar grandes alterações no grau de concentração do setor.

#### 4.3.2. Regime tecnológico hipercumulativo

Na especificação do processo de busca tecnológica que será utilizada, as firmas mantêm as estratégias tecnológicas utilizadas nas simulações anteriores, de modo que possíveis diferenças nos resultados devem derivar fundamentalmente de dois aspectos. O primeiro decorre da interação, de um lado, da realimentação de assimetrias iniciais provocadas pela cumulatividade tecnológica introduzida com, de outro, o efeito de equalização dos *spillovers*, tanto mais significativo quanto maior for (a) a assimetria com que as firmas podem se beneficiar umas das outras (em favor das firmas *atrasadas*) e (b) quanto maior a taxa de *spillovers* (ou, inversamente, quanto menor for o grau de apropriabilidade do esforço de P&D das firmas). E o segundo deriva da forma funcional adotada para representar a trajetória tecnológica das firmas, ao explorarem, gradualmente, as oportunidades tecnológicas que as conduziram para a fronteira tecnológica – com as inovadoras seguindo de modo mais aproximado do que as imitadoras, que podem alcançar a fronteira apenas indiretamente, já que estão atreladas ao desempenho das inovadoras em termos de produtividade.

Dado o propósito comparativo desses exercícios, não serão avaliados os efeitos da mudança dos parâmetros ligados ao processo de *depreciação* da base de conhecimento, o grau de codificação do conhecimento e os demais parâmetros associados aos *spillovers* intra-industriais sobre o desempenho delas. Observaremos apenas o tipo de relação que o desempenho das firmas guarda com seu grau de *competência tecnológica* e em que medida alterações nesse grau de competência podem provocar mudanças naquele.

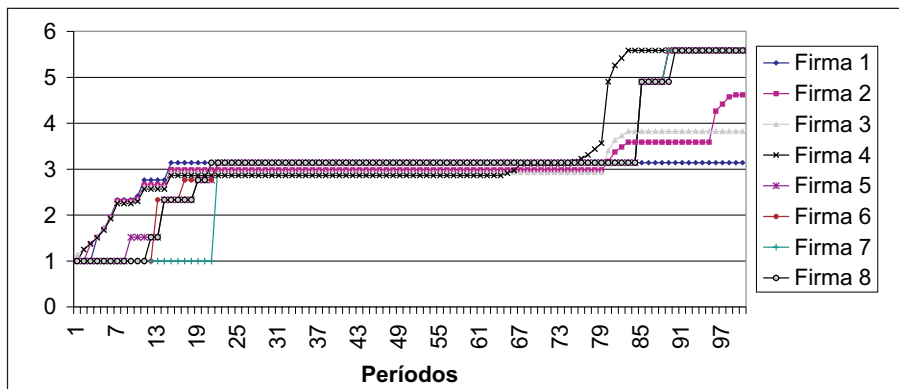
##### a) Produtividade

Essa é uma das variáveis cuja trajetória, como já era esperado, apresenta diferenças mais evidentes com aquela obtida no regime *science-based* e cujo resultado decorre de dois aspectos. De um lado, temos o formato funcional escolhido (logístico ou sigmóide) para representar a média da distribuição da qual é extraída a produtividade das firmas inovadoras bem-sucedidas no primeiro estágio do processo de busca. O formato logístico permite que representemos fases distintas no processo de exploração das oportunidades tecnológicas.

De outro, como não há qualquer garantia de que a produtividade assim lograda será superior àquela que a firma obteve em período passado recente, pode ocorrer

FIGURA 7

## Simulações no regime hipercumulativo: produtividade das firmas



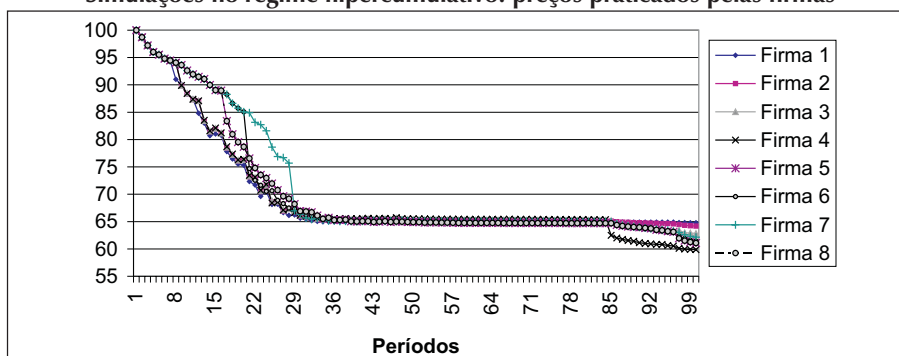
rer que a firma se mantenha em um nível de produtividade relativamente constante, enquanto sua base de conhecimento vai crescendo (cujo efeito sobre a probabilidade de obter um sucesso é compensado pela redução da competência tecnológica). Essa é a razão por que o sucesso em períodos posteriores pode provocar aumentos mais acentuados da produtividade até estabilizar-se em torno do nível dado pela fronteira tecnológica. As discontinuidades e o formato irregular são decorrências das variações de grandeza relativamente elevada (e não unitária, ou próxima disso) na base de conhecimento, que provoca saltos no nível médio de produtividade que pode ser obtido. Em outras simulações, os resultados eram menos descontínuos, mas as firmas praticamente *saltavam* as fases iniciais, logo alcançada a fronteira.<sup>143</sup>

## b) Preços

A trajetória dos preços reflete em grande medida a trajetória da produtividade das firmas, mas sua direção é praticamente uma reprodução da trajetória obtida

FIGURA 8

## Simulações no regime hipercumulativo: preços praticados pelas firmas



no regime *science-based*. Mais uma vez, as firmas inovadoras imprimem o ritmo de declínio nos preços, e o valor final observado é ligeiramente menor do que aquele obtido antes, provavelmente em razão de o nível final de produtividade alcançado ser maior.

As simulações evidenciam também, como se imaginava, que a obtenção de novas tecnologias condiciona a dinâmica dos preços: embora as vantagens competitivas pareçam provir de pressões da própria rivalidade existente na indústria para adotar estratégias de preço mais agressivas (menor margem de lucro), nesse padrão de concorrência elas derivam fundamentalmente do sucesso tecnológico das firmas, que pode vir a ser sancionado ou não pela demanda, dependendo da forma como elas distribuem as vantagens de custo decorrentes do avanço tecnológico entre preço e *markup*.

### c) *Market share*

O desempenho das firmas em termos de *market share* (Figura 9) apresenta características similares aos resultados obtidos sob o regime *science-based*: mantém-se a dispersão inicial entre as firmas inovadoras e imitadoras e a mudança de posição é restrita ao grupo de firmas que compartilham do mesmo tipo de estratégia tecnológica (ver Figura 5). O fato de a firma 1, a partir de certo período, reduzir seu *market share* está associado à velocidade com que sua trajetória tecnológica alcançou a fase de esgotamento. Observe-se que a firma 4 vai gradualmente assumindo a posição de líder porque mantém regularmente um elevado nível de *competência tecnológica* – ou seja, a partir de certo período, foi a que mais se beneficiou do efeito da cumulatividade tecnológica (ver Figura 11, adiante). Entre as imitadoras, há até mesmo desempenhos idênticos (caso das firmas 5 e 8); em geral, conseguem *sobreviver*, ainda que em posições pouco significativas.

FIGURA 9

#### Simulações no regime hipercumulativo: *market share*

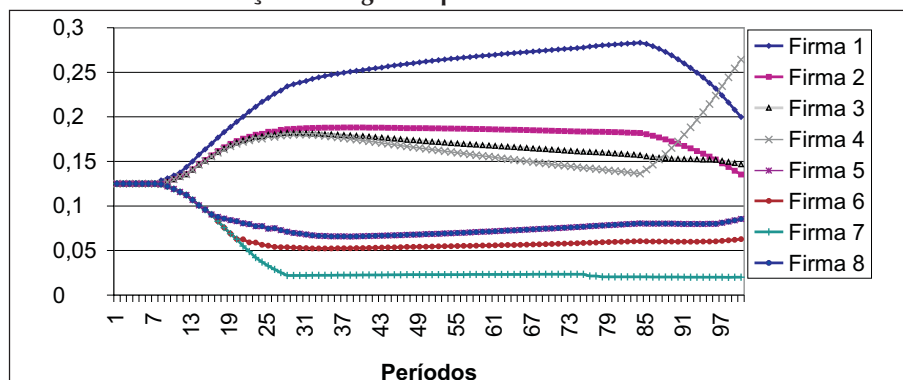
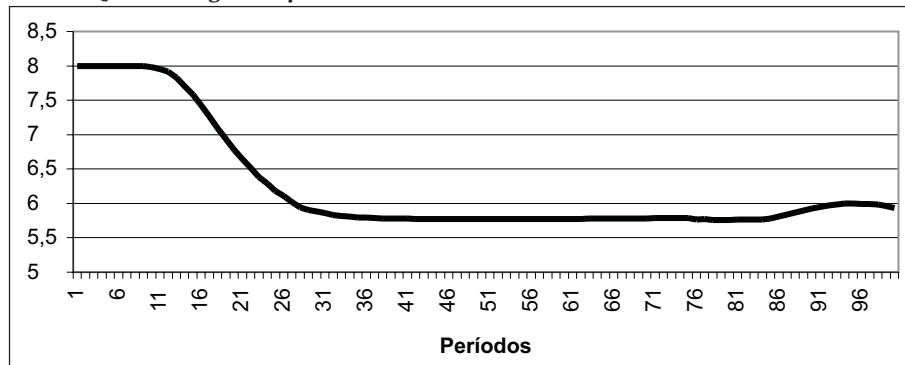




FIGURA 10

**Simulações no regime hipercumulativo: índice de Hirschman-Herfindahl invertido**



d) Grau de concentração do HHI (índice de Hirschman-Herfindahl invertido)

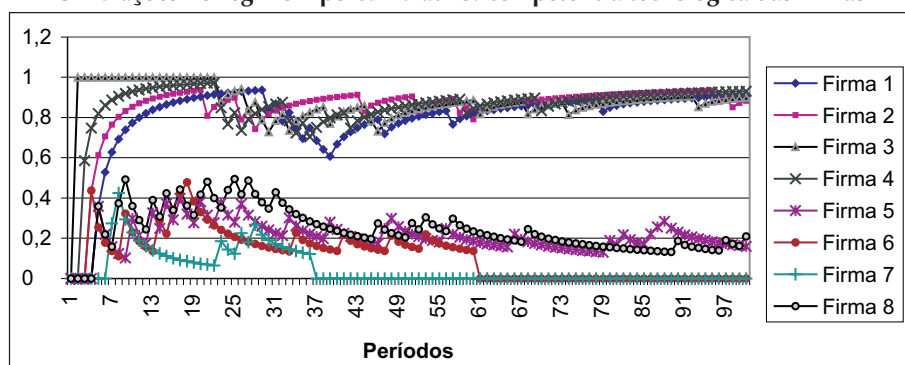
Embora o grau de concentração seja semelhante ao final das simulações, a Figura 10 evidencia um processo de concentração muito mais veloz. A indústria converge mais rapidamente para um certo nível de concentração (próximo ao verificado no regime anterior) em razão dos efeitos da cumulatividade nos primeiros períodos, que acentuam as assimetrias iniciais, gerando concentração em favor das firmas inovadoras, cujo dispêndio em P&D é maior.

e) Competência tecnológica

Os resultados obtidos indicam, como era esperado, que o desempenho das firmas em termos de *market share* está correlacionado diretamente com seu nível de competência tecnológica. As firmas inovadoras exibiram maior domínio da trajetória tecnológica percorrida, mantendo níveis maiores exatamente porque o in-

FIGURA 11

**Simulações no regime hipercumulativo: competência tecnológica das firmas**



intervalo de tempo entre os sucessos consecutivos de suas estratégias tecnológicas era relativamente menor do que aquele observado entre as firmas imitadoras.

#### 4.4. Limitações da análise

O efeito da mudança nos parâmetros ligados ao processo de busca tecnológica proposto neste trabalho, pelas razões indicadas, não foi explorado. A intenção foi tão-somente comparar o desempenho das firmas em regimes tecnológicos distintos quanto às fontes de cumulatividade existentes no processo de concorrência fortemente amparada no progresso técnico.

É preciso fazer a ressalva de que muitos dos resultados obtidos no regime *hipercumulativo* derivam, em alguma medida, da existência de um limite de produtividade que pode ser obtida pelas firmas. Observe-se na Figura 12, a seguir, que a utilização de um processo exógeno de crescimento da produtividade que pode ser obtida pelas firmas inovadoras (mantendo o formato que imprime retornos diferentes para a acumulação de conhecimento e capacitações tecnológicas) produz trajetórias semelhantes àsquelas obtidas nas simulações do regime *science-based*, suprimindo apenas a linearidade observada.

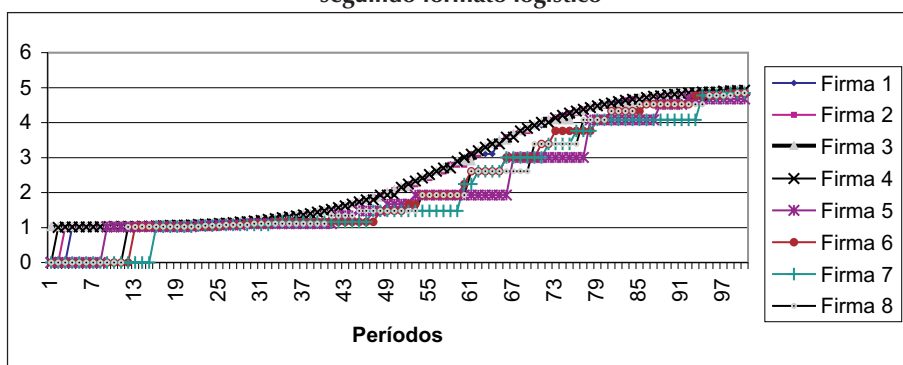
Esse formato não chega a alterar os demais resultados significativamente, mas mantém a exogeneidade existente no modelo NW (apenas introduzindo um limite<sup>144</sup>) e restringe a importância da base de conhecimento da firma.

Há ainda duas possibilidades de contornar esse problema, mantendo endógena a taxa de crescimento da produtividade das firmas. Retomando as equações apresentadas no capítulo anterior, na definição do segundo estágio do processo de busca, em particular o caso das firmas inovadoras, tínhamos que

$$\log(\pi_{i,t}^N) \sim N(\mu_{i,t}; \sigma^2); \quad (92)$$

FIGURA 12

Produtividade no regime *science-based* com média  
seguindo formato logístico



mas, fazendo agora

$$\mu_{i,t} = \pi_{i,t-1}^f \left( 1 + \dot{\hat{\Gamma}}_{t,t-1} \right), \quad (93)$$

em que  $\dot{\hat{\Gamma}}_{t,t-1} = \frac{\hat{\Gamma}_{i,t} - \hat{\Gamma}_{i,t-1}}{\hat{\Gamma}_{i,t-1}}$  é a taxa de crescimento da base de conhecimento disponível da firma  $i$  no período  $t$ , em relação ao que detinha no período anterior, e  $\pi_{i,t-1}^f$  é a produtividade da melhor tecnologia de que a firma dispõe até então.

De outro modo, poderíamos ter ainda

$$\mu_{i,t} = \pi_{i,t-1}^f (1 + v), \quad \text{sendo} \quad (94)$$

$$v \sim U[0, \dot{\hat{\Gamma}}_{t,t-1}], \quad (95)$$

em que  $\dot{\hat{\Gamma}}_{t,t-1}$  segue como definido antes.

Observe-se que em ambos os casos o crescimento da produtividade média que a firma inovadora bem-sucedida pode obter depende do acúmulo de conhecimento tecnológico. É o crescimento de sua base de conhecimento que limitará o nível de produtividade que poderá ser alcançado a cada momento em que obtiver um sucesso tecnológico.

Nesse último caso, da equação (95), as oportunidades tecnológicas crescem independentemente de qualquer hipótese sobre o ritmo do progresso científico, sendo bastante semelhante ao regime cumulativo do modelo NW, com a exceção de que a taxa de crescimento é dada pela expansão da base de conhecimento das firmas.

## Conclusão

---

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de busca tecnológica (inovação ou imitação) em que:

a) as firmas acumulam conhecimento cuja depreciação pode ser de natureza cognitiva ou tecnológica;

b) os *spillovers* de P&D são assimétricos e sua internalização depende da capacidade de absorção da firma;

c) o esforço de P&D é visto em seu papel dual, já que foi formalizado de maneira que exerce o papel tanto de fonte interna de conhecimento e capacitação tecnológica quanto de condicionante direto da capacidade de absorção da firma;

d) há cumulatividade tecnológica – realimentação dos processos estocásticos que definem o sucesso da busca tecnológica; e, por fim,

e) há endogeneização das trajetórias tecnológicas das firmas.

Ao integrar tais aspectos no processo de busca tecnológica, o modelo procurou superar algumas das limitações e problemas internos do modelo Nelson-Winter que, conforme foi destacado no Capítulo 2, perpassaram pela corrente de modelos do mesmo tipo que o sucedeu nas duas décadas seguintes, quais sejam: a ausência (1) de *spillovers* de P&D; (2) de um processo, específico à firma, de exploração das oportunidades tecnológicas; e (3) de cumulatividade tecnológica.

Esses aspectos são cruciais porque têm a capacidade de alterar substancialmente a *rationale* dessa parte crucial dos modelos, logo, seus resultados. Se não, vejamos. No primeiro caso, a introdução de *spillovers* tecnológicos não apenas funcionou como mecanismo de *catching-up* das firmas tecnologicamente *atrasadas* (inovadoras ou imitadoras), como também aumentou o grau de rivalidade entre as firmas. Além disso, abriu espaço para a introdução de aspectos institucionais, já que a possibilidade de beneficiar-se do conhecimento tecnológico de firmas

rivais demandaria arranjos institucionais que protegessem os direitos de exploração restrita dos resultados de P&D das firmas, ainda que isso viesse, do ponto de vista setorial, a produzir efeitos adversos sobre o ritmo de mudança técnica e, por extensão, sobre sua eficiência produtiva.

No segundo caso, sob a justificativa de um contínuo progresso científico, a fronteira tecnológica da indústria cresce exógena e continuamente, conforme a taxa de crescimento da média da distribuição escolhida. Como os resultados das firmas inovadoras, em termos de produtividade, dependem do ritmo de evolução da fronteira, a exogeneidade dessa última acabava sendo transmitida diretamente para o ritmo de crescimento da fronteira de produtividade das firmas. A implicação disso é crucial: a fronteira de produtividade da firma (com sucesso inovativo) se desloca seguindo os picos da produtividade *latente* (isto é, seguindo a fronteira tecnológica), sem que existam fases intermediárias – ou um tipo de ciclo no processo de exploração de oportunidades tecnológicas – que revelem o processo de transição tecnológica entre o nível de produtividade prevalecente da firma e aquele nocionalmente disponível pelas oportunidades tecnológicas que o progresso científico engendrou. Além do que, mesmo em uma indústria do tipo *science-based*, parece normal admitir que as firmas levam algum tempo para alcançar os *picos* potenciais de produtividade, que, pelos desenvolvimentos na pesquisa científica (básica e ou aplicada), tornam-se nocionalmente factíveis.

Por fim, no terceiro caso, sustentamos que a inexistência de um mecanismo de realimentação estritamente tecnológico nos modelos e o uso apenas do investimento corrente em P&D como determinante exclusivo da probabilidade de sucesso tecnológico das firmas têm, ambos, implicações fundamentais para a lógica interna do modelo, pois:

i) compromete a aderência do modelo em fatos estilizados da literatura em economia industrial, já que o potencial inovativo ou imitativo das firmas também depende dos investimentos realizados e das capacitações adquiridas no passado; e

ii) significa a existência de uma descontinuidade contínua na atividade de busca tecnológica, incompatível com a natureza cumulativa da atividade de P&D. Ou seja, os resultados alcançáveis pelo esforço tecnológico da firma em cada período se esgotam ali mesmo, não afetando, *per se*, os resultados que podem ser obtidos no futuro próximo, que dependem da realização de um novo esforço de P&D.

Como um modelo de busca tecnológica é apenas parte das decisões estratégicas das firmas, restando ainda aquelas ligadas ao processo de produção e apreçamento (*pricing*), o modelo desenvolvido no Capítulo 3 foi, como proposto, integrado ao modelo PK. Os exercícios de simulação apresentados no Capítulo 4 compararam as trajetórias das variáveis que permitem avaliar o desempenho das firmas em uma indústria e o grau de concentração nessa mesma indústria em duas versões do modelo PK: uma com regime tecnológico *science-based*, seguindo o tratamento dado no modelo NW ao processo de busca tecnológica; e outra com regime tecnológico *hipercumulativo*, em que o processo de busca segue as formulações propostas anteriormente.

Os resultados, preliminares e bastante gerais, indicam que sob o regime *hipercumulativo* se acentua a dispersão entre firmas inovadoras e imitadoras que existia inicialmente na indústria em regime *science-based*, embora os benefícios assimétricos dos *spillovers*, combinados ao fato de as firmas inovadoras rapidamente atingirem a fase de esgotamento de suas trajetórias, dêem início a um processo de reversão do desempenho das firmas (em termos de *market share*), mas com a peculiaridade de provocar mudanças apenas entre as firmas que compartilham do mesmo tipo de estratégia tecnológica, não chegando a mudar o desempenho geral de ambos os tipos de firma.

As trajetórias dos preços e do grau de concentração na indústria, apesar de seguirem as mesmas tendências observadas no regime *science-based*, mostraram velocidades distintas. No caso dos preços, a continuidade de sua redução estava condicionada ao crescimento mais ou menos contínuo da produtividade. Já no caso da concentração do mercado, embora os resultados obtidos ao fim de cem períodos sejam próximos, no regime *hipercumulativo* ocorreu uma rápida concentração da indústria, mesmo tendo todas as firmas *sobrevivido* ao longo dos períodos. A razão disso parece estar vinculada ao efeito da cumulatividade tecnológica sobre o desempenho inicial das firmas: as vantagens obtidas inicialmente foram continuamente reforçadas, ao menos enquanto existiam oportunidades tecnológicas a serem exploradas. O esgotamento das oportunidades tecnológicas permitiu que outras firmas obtivessem vantagens, enquanto as firmas líderes (todas inovadoras) haviam esgotado suas possibilidades de obter avanços tecnológicos. Em ambos os ambientes tecnológicos, por assim dizer, as estratégias foram eficazes em garantir a sobrevivência das firmas, não obstante um desempenho sensivelmente menor das imitadoras no regime *hipercumulativo*.

Por fim, vale notar que formas funcionais diferentes podem permitir um tratamento analítico melhor da questão da endogeneização, embora não pareçam capazes de alterar em essência os principais resultados do modelo PK, em particular, o fato de a estratégia inovativa, ainda que com um custo maior, permitir uma posição de liderança no mercado.

## Apêndice A

---

### Equações do modelo PK

Com o propósito de tornar mais clara a compreensão da estrutura do modelo PK, serão aqui reproduzidas várias equações que, por estarem ligadas ao processo decisório de produção e investimento – estando, portanto, pouco relacionadas com o propósito mais específico do trabalho –, foram suprimidas quando da análise do modelo no Capítulo 2.

#### *Decisões de produção*

A decisão de produção em um certo período  $t$  ( $x_{i,t}^*$ ) tenciona não apenas se antever às vendas previstas ao fim do período ( $x_{i,t}^e$ ), mas à própria administração dos estoques dentro dos intervalos que a firma julga razoável, tendo em vista aumentos inesperados da demanda. Assim,

$$x_{i,t}^* = x_{i,t}^e (1 + \sigma) - x_{i,t-1}^s \quad (1)$$

em que  $x_{i,t}^*$  é não-negativo e limitado superiormente pela capacidade produtiva da firma ( $\bar{x}_{i,t}^*$ ). O cálculo das vendas esperadas segue uma regra extrapolativa a partir das encomendas – ou da demanda – pela qual a firma  $i$  foi responsável no período corrente que finda,  $D_i(t)$ , acrescida de uma certa proporção  $\gamma$  da variação observada nos últimos dois períodos, de modo que

$$x_{i,t}^e = e_{i,t-1} + \gamma(e_{i,t-1} - e_{i,t-2}), \quad (2)$$

com os estoques sendo trivialmente calculados como  $x_{i,t}^s = x_{i,t}^* + x_{i,t-1}^s - x_{i,t}$ .

A demanda da firma, por sua vez, é o produto de seu *market-share* pela demanda total da indústria

$$D_i(t) = s_{i,t} D(t), \quad (3)$$

em que  $s_{i,t}$  é determinado pela *replicator dynamic*, uma equação que atualiza a distribuição da demanda entre as firmas na indústria, a partir das mudanças no nível relativo de competitividade das firmas,  $E_{i,t}$ , donde segue-se que

$$s_{i,t} = s_{i,t-1} \left[ 1 + \mu \left( \frac{E_{i,t} - \bar{E}_t}{\bar{E}_t} \right) \right], \quad (4)$$

em que  $\bar{E}_t = \sum_{i=1}^n E_{i,t} s_{i,t-1}$  e  $\mu \in [0,1]$  são um parâmetro de calibração.

A competitividade de cada firma, por sua vez, é função do nível de preço que pratica,  $p_{i,t}$ , e do atraso em suas entregas,  $dd_{i,t}$ , de modo que

$$E_{i,t} = \frac{1}{p_{i,t}^{\varepsilon_1} dd_{i,t}^{\varepsilon_2}}, \quad (5)$$

em que  $\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  representam a elasticidade-preço e a elasticidade-atraso da entrega da competitividade. É fácil ver, a partir da equação que determina o *market-share* e a competitividade média da indústria, e admitindo-se, por simplificação, que  $dd_{i,t}^{\varepsilon_2} = 1$ , que

$$E_{i,t} > \bar{E}_t \leftrightarrow \bar{p}_t > p_{i,t}^{\varepsilon_1}. \quad (6)$$

A demanda da indústria cresce a uma taxa constante  $\lambda$ , e pode sofrer variações inesperadas, dependendo do valor assumido por  $u$  – em que  $u \sim U[0,1]$ :

$$D(t) = \frac{\beta \exp(\lambda t + u)}{(\bar{p}_t)^\eta} \quad (7)$$

Por fim,  $dd_{i,t} = \frac{D_i(t-1)}{x_{i,t-1}}$  é um indicador de atraso de entregas que procura

captar o quão menor foram as vendas efetivas em relação ao que havia sido demandado à firma  $i$ .

#### Decisões de preço

A equação de preços segue formulação muito próxima daquela desenvolvida por Kalecki e representa um condicionamento da regra de apuração da firma não só por suas estratégias de valorização de seu capital expressas em seu *markup*, mas também pelas próprias condições de competitividade na indústria e a posição relativa que ocupa:

$$\frac{\Delta p_{i,t}}{p_{i,t-1}} = \theta \left( \frac{p_{i,t}^d}{p_{i,t}} - 1 \right) + (1 - \theta) \left( \frac{E_{i,t}}{\bar{E}_t} - 1 \right) \quad (8)$$



em que  $p_{i,t}^d = k_i^d u_i$  e  $u$  é o custo variável médio. Pela condição estabelecida na equação (6), sabe-se que  $\frac{E_{i,t}}{\bar{E}_t} = \frac{\bar{p}_t}{p_{i,t}^{\varepsilon 1}}$ , que, ao ser posto na equação (8), permite observar também que

$$p_{i,t} = \theta p_{i,t}^d + (1 - \theta) \bar{p}_{t-1}, \quad (9)$$

apontando para uma subordinação da formação de preços, em condições oligopolistas, às condições médias vigentes no mercado, indicadas pelo preço médio praticado na indústria,  $\bar{p}_{t-1}$ .

O custo variável unitário, por sua vez, é a soma do custo unitário com matéria-prima ( $m_i$ ) e do custo unitário com mão-de-obra ( $\frac{w_i}{\pi_{i,t}}$ ), em que  $w_i$  é o salário nominal e  $\pi_{i,t}$  é a produtividade média da firma  $i$  em  $t$ , de modo que

$$u_{i,t} = m_i + \frac{w_i}{\pi_{i,t}}. \quad (10)$$

#### *Decisões de investimento*

A decisão de investimento possui dois componentes: a expansão da capacidade produtiva e a reposição de máquinas – por depreciação ou por obsolescência tecnológica. Para o cálculo da capacidade produtiva que a firma deve possuir e, portanto, do volume de investimentos em capital fixo que deve realizar, as firmas prevêem demanda para os períodos ao longo dos quais a capacidade produtiva com que operam já contará com os investimentos que venham a ser correntemente realizados – ou seja, há um período de maturação que elas observam em seu processo decisório. A formação de expectativas sobre as vendas para o período em que entrará em operação o investimento feito no período corrente segue uma regra extrapolativa: supõe que as vendas no período de investimento que se inicia, ( $V_{+1}^e$ ), serão idênticas às vendas médias efetuadas no período de investimento que se encerra, ( $V_0$ ), corrigidas em alguma medida pela variação última ocorrida, ( $V_0 - V_{-1}$ ), isto é:

$$V_{+1}^e = V_0 + \gamma(V_0 - V_{-1}) \quad (11)$$

do mesmo modo,

$$V_{+2}^e = V_{+1}^e + \gamma(V_0 - V_{-1}) = V_0 + 2\gamma(V_0 - V_{-1}) \quad (12)$$

A capacidade produtiva que a firma necessitará possuir ( $CP^d$ ), considerando-se suas expectativas de vendas – e o nível de estoques associados ao novo nível de venda –, é dada por  $CP^d = (1 + \sigma)V_{+2}^e$ , que representa uma fração,  $\sigma$  ( $0 < \sigma \leq 1$ ), da capacidade produtiva planejada,  $CP_{pl}$ , já que a firma deseja possuir alguma mar-

gem adicional de operação por ocasião de mudanças imprevistas na demanda. Assim, se a capacidade produtiva planejada é dada por

$$CP^{pl} = \frac{(1+\sigma)}{\alpha} V_{+2}^e, \quad (13)$$

então a variação da capacidade produtiva planejada ( $\Delta \bar{x}_{i,t}^*$ ) que deve ser atendida pelos novos investimentos pode ser facilmente obtida dessa equação, bastando daí subtrair a capacidade produtiva já em funcionamento,  $CP_0$ , de modo que

$$\Delta \bar{x}_{i,t}^* = \frac{(1+\sigma)}{\alpha} V_{+2}^e - CP_0. \quad (14)$$

Assim, o valor do investimento bruto da firma ( $I_{i,t}^{*F}$ ) fica determinado pelo produto do preço dos bens de capital ( $p_{k,t}$ ) com a soma das necessidades de aumento de capacidade produtiva,  $\Delta \bar{x}_{i,t}^*$ , somadas às necessidades de máquinas e equipamentos de reposição,  $\bar{x}_{i,t}^\delta$ ; tem-se, então, que

$$I_{i,t}^{*F} = p_{k,t} (\Delta \bar{x}_{i,t}^* + \bar{x}_{i,t}^\delta). \quad (15)$$

#### *Restrição financeira*

A plena execução das decisões de investimento apontadas na equação (15) depende da disponibilidade de recursos – sejam próprios, sejam de terceiros. Os recursos financeiros totais da firma  $i$  disponíveis para financiamento dos investimentos no período  $t$  ( $F_{i,t}$ ) são dados por

$$F_{i,t} = F_{i,t}^I + F_{i,t}^{*} - A_{i,t}^{*}, \quad (16)$$

cujos dois primeiros componentes à direita da igualdade representam, respectivamente, os recursos internos da firma e os recursos externos que podem ser mobilizados – e que dependem de seu nível corrente de endividamento. O último termo,  $A_{i,t}^{*}$ , é o nível de recursos financeiros líquidos que a firma deseja manter para fins precaucionais. Vale notar que os recursos internos da  $i$ -ésima firma no período  $t$  ( $F_{i,t}^I$ ) são dados pelos lucros retidos ( $P_{i,t}^R$ ) – lucros líquidos descontados de impostos e da parcela distribuída – e pelos montantes de recursos reservados à depreciação ( $\delta_{i,t}$ ), isto é,

$$F_{i,t}^I = P_{i,t}^R + \delta_{i,t}. \quad (17)$$

Os recursos externos mobilizáveis para investimento são limitados superiormente pelo nível de endividamento que a firma impõe a si própria, uma fração,  $g_i$ , do estoque e do capital total. Assim, os recursos externos disponíveis são dados por

$$F_{i,t}^{*} = g_i K_{i,t}^T + D_{i,t-1}, \quad (18)$$

que pode ser negativo ou positivo, dependendo do nível de endividamento da firma no período anterior,  $D_{i,t-1}$ . Se  $F_{i,t} - I_{i,t}^* > 0$ , tal diferença poderá ser utilizada para a aquisição de máquinas mais modernas, isto é, equipamentos que incorporem a melhor técnica disponível no setor, seguindo a regra de *payback* adiante:

$$\frac{p_{k,t} \bar{x}_{i,j,t}}{b} \leq w \left( \frac{1}{\pi_{i,j,t}} - \frac{1}{\pi_{i,t}^F} \right), \quad (19)$$

ou até que os recursos se esgotem, ou até que a firma renove todas seu estoque de capital, a partir das safras mais antigas. A regra de aquisição de equipamentos com tecnologia de fronteira ( $\pi_{i,t}^F$ ) na equação (19) apenas postula que, se o valor da parcela de amortização – lado esquerdo da desigualdade nessa equação – for menor que o excesso de custo variável unitário por mão-de-obra do equipamento em uso *vis-à-vis* o novo – lado direito da desigualdade em (19) –, e havendo recursos suficientes, deve adquirir o novo equipamento.

#### *Rotinas tecnológicas*

A produtividade de cada equipamento da  $j$ -ésima safra, que compõe o estoque de capital da firma  $i$  no período  $t$  ( $\pi_{i,j,t}$ ), pode, pelo efeito aprendizado ( $h_{i,j,t}$ ), crescer para além do nível inato determinado originalmente:

$$\pi_{i,j,t} = \pi_{i,j,t}^0 h_{i,j,t}, \text{ em que} \quad (20)$$

em que

$$h_{i,j,t} = 1 + z \left( 1 - \exp(-\tau \sum_t x_{i,j,t}^*) \right) \quad (21)$$

é o efeito aprendizado, que, a depender do volume de produção já realizado até o período corrente com o equipamento  $j$  ( $x_{i,j,t}^*$ ), pode aumentar, a um ritmo exogenamente determinado  $\tau$ , em uma proporção  $z$ . As demais especificações sobre o processo de busca tecnológica, que também faz parte das rotinas tecnológicas da firma, podem ser vistas em detalhes no Capítulo 2, Seção 2.2.4.

## Apêndice B

---

### Condições iniciais e valores dos parâmetros

Nº	VARIÁVEL	VALOR
1	$\Gamma_{i,t}$	0
2	$\tilde{\Gamma}_{i,t}$	0
3	$E_{i,t}$	0
4	$\xi_{i,t}$	0
5	$S_{i,t}$	0
6	$S_{i,t}^p$	0
7	$\theta_{i,t}$	0
8	$\delta'$	0,1
9	$\kappa$	0,1
10	$= v(\Omega \geq 0)$	3
11	$= v(\Omega < 0)$	0,3
12	$\zeta$	0,01
13	$m$	4
14	$\delta$	0,4

Nº	VARIÁVEL	VALOR
15	$i$	0,2
16	$\alpha$	0,2
17	$u_i^F$	$\sim U\{0,5, 0,8\}$
18	$\eta_{\min}$	0,2
19	$\eta_{\max}$	0,8
20	$\pi_{\min}$	1
21	$\pi_{\max}$	5
22	$b^n$	0,4
23	$b^m$	0,3
24	$a$	3
25	$E_{\min}$	6,8
26	$\beta$	0,2

## Notas

---

- <sup>1</sup> Uma contrapartida formal do processo de seleção dos mais aptos, feito sob inspiração das idéias darwinistas.
- <sup>2</sup> Resumidamente: ausência de *spillovers* de P&D, de cumulatividade tecnológica e de um processo, específico à firma, de exploração das oportunidades tecnológicas; nesse último caso, permitindo que a exogeneidade do ritmo de crescimento da fronteira tecnológica seja transmitida para a fronteira tecnológica das firmas. Esses aspectos serão detalhados no Capítulo 2.
- <sup>3</sup> Por ser, a nosso ver, um modelo de dinâmica industrial relativamente mais completo dentro da família de modelos evolucionários que seguem a estrutura do modelo Nelson-Winter, quando nada porque, entre outras características, combina e aperfeiçoa elementos contidos nesses modelos evolucionários, que já haviam eliminado algumas deficiências desse último – como se espera de um programa de pesquisa cumulativo.
- <sup>4</sup> Como sugerem Cohen e Levinthal (1989). Outras referências serão indicadas no Capítulo 3.
- <sup>5</sup> Como, por exemplo, em Llerena e Oltra (2000).
- <sup>6</sup> Cf. Nelson e Winter (1982, Caps. 12 e 13). Há ainda o regime tecnológico que os autores definem como *cumulativo*. Mesmo nesse caso, o crescimento da fronteira de produtividade da firma é arbitrário (depende dos parâmetros da distribuição de uma variável aleatória da qual é retirada a taxa de crescimento da produtividade da firma) e, o que parece ser mais grave, sem vínculo direto algum com uma variável específica à firma. Mais detalhes no Capítulo 2 deste trabalho.
- <sup>7</sup> No sentido de o estado futuro do processo  $Z_t$ , digamos, ser *dependente* dos estados assumidos no passado, em que  $Z_t$  assume valores discretos (como veremos, 1 ou 0) – ou seja,  $P(Z(t_{n+1}) = z_{n+1} | Z(t_n) = z_n, \dots, Z(t_1) = z_1) \neq P(Z(t_{n+1}) = z_{n+1} | Z(t_n) = z_n)$ . Além do que as probabilidades de transição, se fossem inicialmente definidas, seriam não-estacionárias.
- <sup>8</sup> Nelson (1987, p. 2 ss), por exemplo, menciona três razões que, a seu ver, justificam o interesse renovado pela questão da mudança técnica: (1) o papel explicativo (significativo) do avanço técnico apontado nos estudos econométricos sobre crescimento econômico; (2) o trabalho de Schumpeter de 1942 e sua ênfase no avanço técnico como arma competitiva das firmas; e (3) as elevadas taxas de retorno de investimentos públicos em P&D, percebidas inicialmente em economia agrícola.

- <sup>9</sup> Formalmente: sendo  $\dot{T}$  o resíduo de Solow,  $\frac{d}{dt}\left(\frac{Y}{L}\right)$  o crescimento do produto por trabalhador,  $K$  e  $L$  os estoques de fatores produtivos (capital e trabalho, respectivamente) e  $S_k$  a participação do capital na produção, teríamos que  $\dot{T} = \frac{d}{dt}\left(\frac{Y}{L}\right) - S_k\left(\frac{dK}{dt} - \frac{dL}{dt}\right)$ . A afirmação seguinte de Sachs e Larraín (1995, p. 625) é reveladora da (exígua) relevância que a questão do progresso técnico assumia dentro do programa de pesquisa neoclássico: “Os economistas interpretam o resíduo de Solow como a parte do crescimento econômico decorrente do progresso tecnológico. Mas, na realidade, ele é uma medida de nossa ignorância, pois é calculado como parte do crescimento que não é claramente explicável pelos fatores observáveis.”
- <sup>10</sup> Para uma análise das teorias do crescimento endógeno e o papel teórico, em particular, do progresso técnico na endogeneização do crescimento, ver Cesaratto (1999) e Possas (1999).
- <sup>11</sup> Na literatura econômica, particularmente os textos de natureza metodológica, há uma extensa discussão sobre as implicações teóricas e os impactos normativos do emprego da noção de agentes hiper-rationais capazes de maximizar uma função-objetivo bem definida e da noção de equilíbrio – chega a ser quase um requisito obrigatório nos trabalhos de natureza analítica – para descrever o resultado da interação de agentes motivados pelo próprio interesse. A despeito da reconhecida caricatura com que por vezes é tratada a análise neoclássica, Nelson e Winter (1982, p. 8) observam: “It is a caricature to associate orthodoxy with the analysis of static equilibria, but it is no caricature to remark that continued reliance on equilibrium analysis, even in its more flexible forms, still leaves the discipline largely blind to phenomena associated with historical change.” Para mais detalhes, cf. Blaug (1999) e Caldwell (1994).
- <sup>12</sup> Mudança econômica “entendida tanto no aspecto técnico-produtivo (processos e produtos) quanto na estrutura e dinâmica dos mercados (concentração, diversificação, rentabilidade e crescimento)” [Possas (1988, p. 159)].
- <sup>13</sup> Um dos primeiros modelos evolucionários de crescimento pode ser visto em Nelson e Winter (1982, Caps. 9 e 10). Um modelo de crescimento de uma economia estilizada com dois setores – que será analisado no próximo capítulo – está em Chiaromonte e Dosi (1993); um outro modelo relativamente recente, mas com uma passagem micro e macroagregativa, pode ser visto em Silverberg e Verspagen (1994). Uma tentativa de resolver o problema da passagem (e de ligações causais) entre os níveis micro e macro tem sido a utilização de mecanismos derivados de modelos de transição de fases, que, na física, procuram dar uma resposta para o mesmo tipo de problema – deficiências nas passagens do ambiente onde ocorrem as microdeterminações e seus efeitos sobre o nível macro, bem como a influência deste sobre as próprias microdeterminações. Em Hors e Lordon (1997), por exemplo, encontra-se uma análise sobre a correspondência formal entre o problema da passagem micro e macro dos agentes econômicos em suas interações e o problema da transição de fases em física, além de sobre a transposição dos procedimentos utilizados nesse último para a economia como solução para tal problema.
- <sup>14</sup> Uma discussão sobre as controvérsias em biologia acerca da identificação dos níveis – e mesmo das unidades – de seleção pode ser encontrada em Pondé (2000, Seção 2.1.2).
- <sup>15</sup> No sentido de que resulta das próprias ações da firma materializadas nas estratégias de P&D.
- <sup>16</sup> Para uma discussão sobre a ligação entre o micro e o macro, cf. Eliasson e Day (1986) e Possas (1993) e, de forma mais resumida, Possas (1999, Seção 4). Marengo e Willinger (1997), por exemplo, colocam a questão da passagem micro e macro como um dos principais desafios analíticos a se resolver, sem que se recorra ao uso de esquemas indutivos a partir de modelos microeconômicos (“agentes representativos”) ou de simples agregação de resultados individuais. A crítica, ao que parece, se dirige à usual construção de curvas de demanda e oferta *completas* por agregação de decisões individuais, de firmas e indivíduos: ainda que se ignorem as diferen-

ças temporais entre os períodos de produção das firmas (e a assincronia análoga nas decisões de gasto dos indivíduos) e se somem tais decisões de produção das firmas (ou dos gastos dos agentes, para o caso da demanda), tal medida não é mais que um ponto agregado da demanda ou da oferta, o que não se confunde com a utilização de uma função cujo formato funcional descreva inteiramente a relação esperada entre preço e quantidade demandada do produto, para um mesmo nível de renda.

- 17 Vale notar que essas dificuldades envolvendo a passagem micro e macro (relacionadas aos problemas de agregação de decisões e ações de firmas e indivíduos a fim de se fazerem inferências sobre eventos macros e a operação oposta, no intuito de examinar, nesse caso, a influência das firmas e indivíduos tomados individualmente) refletem, em última instância, a tensão metodológica que envolvem os modos de construção das explicações científicas nas ciências sociais, quais sejam, holismo e individualismo metodológico.
- 18 Jones (1975, p. 107), comentando a extensão do longo prazo no modelo de crescimento neoclássico, cita um estudo sobre a velocidade dos processos de convergência e sobre o tempo necessário para se retomar a trajetória de crescimento equilibrado no modelo de Solow, quando ocorre alguma modificação, por exemplo, na propensão a poupar em função de alguma medida de política fiscal: “Sato (1979, p. 384 e 385) mostrou que o período de ajustamento *pode ser* muito longo – possivelmente acima de cem anos” (grifo do original). E acrescenta: “(...) um período de ajustamento muito longo pode lançar dúvidas adicionais sobre a utilidade dos conceitos de estado estável de crescimento balanceado, visto que podemos realmente esperar períodos muito longos de crescimento desequilibrado” (*ibidem*, p. 108).
- 19 Sobre as características de vários modelos evolucionários de dinâmica industrial, Kwasnicki (2001), com algum ceticismo, observa: “Similarly all models are focused on far-from-equilibrium analysis but it is interesting to see to what extent this feature is really used in the process of simulation analysis of the models”. Sem dúvida, os modelos evolucionários (ligados à corrente neoschumpeteriana) não fazem qualquer tipo de referência a mecanismos de ajustamento ou sinalização que ou (1) garantam algum tipo de coordenação *ex ante* das decisões dos agentes, de forma a torná-las mutuamente consistentes, ou (2) garantam que as decisões *racionais* dos agentes necessariamente impliquem a realização dos objetivos associados, ou, ainda, (3) que exista uma configuração de decisões ou um estado que represente, previamente, um “ponto de atração” para o qual converge a economia (ou a indústria, o agente etc.), sem que os processos de ajustamento e interações mútuas das decisões no nível microeconômico com os resultados observados alterem continuamente tal “ponto de convergência”. E isso já justificaria, pelo menos, uma ênfase maior nos esforços de pesquisa sobre os processos de “transição”, em vez de uma ênfase maior na dedução das configurações estruturais estacionárias, ainda que “dinâmicas”. Para um relato mais extenso sobre a questão do desequilíbrio e sua importância analítica no enfoque evolucionário, cf., por exemplo, Nelson e Winter (1982, especialmente Caps. 1 e 2), Possas (1999, Seção 4) e Dosi (1991b).
- 20 Sobre essa questão, Samuelson e Modigliani (1976, p. 287-97, *apud* Jones, 1975, Cap. 4) observam: “Enfatizamos os séculos que podem estar envolvidos para ressaltar aquilo de que estamos falando aqui e em todo o lugar: os estados estáveis hipotéticos nunca serão, na verdade, atingidos, partindo-se de outros estados e deles pode-se aproximar somente depois de tão longo período de tempo que o realismo dos modelos torna-se questionável.”
- 21 Se, assim como na biologia, a seleção em economia fosse vista como um processo que “determina uma tendência a que a frequência de cada atributo ou característica na população mude em uma determinada direção” (Pondé, 2000, p. 36), o argumento da seleção poderia dar margem a interpretações “equilibristas”: a longo prazo, a seleção tornaria evidente o comportamento do tipo *maximizador* como estratégia evolucionária estável (EES). No enfoque adotado aqui, o argumento de seleção deve ser visto como um processo de eliminação das firmas (e ou suas estratégias) intenso o suficiente para permitir a manutenção das diferenças tecnológicas e comportamentais entre elas – diferenças essas de que, aliás, a ocorrência de seleção depende.

- <sup>22</sup> Como observam Marengo e Willinger (1997, p. 32), “in evolutionary modelling, dynamic properties are the outcome of the interaction among heterogeneous units, with an endless introduction of novelty”.
- <sup>23</sup> Kwasnicki (1996) elaborou um modelo de dinâmica industrial em que analisa o impacto sobre o desempenho da indústria de três regimes tecnológicos, diferentes entre si pelo tipo de efeito que as inovações produzem, quais sejam: melhoria da *performance* técnica do produto, redução de custo ou, ainda, aumento da produtividade do capital. Nesse caso, observe-se que as inovações que incrementam o desempenho técnico do produto da firma  $i$  podem ser vistas como inovações de produto: postula-se que a competitividade do produto,  $c(p, q)$ , é incrementada quando ocorre uma redução do preço  $p$  do produto ou quando aumenta a competitividade técnica  $q$  do produto; nesse caso,  $\frac{\partial c}{\partial p} > 0$  e  $\frac{\partial c}{\partial q} > 0$ . Como a competitividade técnica do produto depende de um vetor  $\mathbf{z}^{(t)}$  de dimensão  $m$ , cujos elementos podem ser vistos como índices numéricos que indicam a *qualidade* do produto em cada uma de suas  $m$  características no período  $t$ , então é possível definir  $\chi: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^+$  |  $q = \chi(\mathbf{z})$ , em que  $\mathbb{R}^m$  é um espaço euclidiano de ordem  $m$  munido de produto interno. Observe-se que o impacto sobre a competitividade do produto na ocorrência de uma inovação (no regime em que seu efeito é aumentar o desempenho técnico do produto) é mediado por uma modificação positiva de pelo menos uma das  $m$  características do produto em  $t$ . Assim, para um certo preço  $p_0$ ,  $\Delta c_{t+1} > 0 \rightarrow d(\mathbf{z}^{(t)}, \mathbf{z}^{(t+1)}) > 0$  – sob a restrição de que não há queda (que tivesse efeito anulador) na *qualidade* de outros atributos do produto, ou seja,  $z_{1j} \in \mathbf{z}^{(t)} \geq z_{1j} \in \mathbf{z}^{(t+p)} \forall p = 0, 1, \dots, n$  tal que  $1 \leq i \leq m$ .
- <sup>24</sup> No primeiro caso, Nelson e Winter (1982), Winter (1984); no segundo, Possas *et al.* (2001) e Chiaromonte e Dosi (1993). Em Silverberg *et al.* (1988), não há nenhum processo explícito de inovação, há apenas a decisão de aquisição de máquinas que incorporem uma tecnologia potencialmente (inicialmente) mais produtiva. Para um modelo de dinâmica industrial em que a inovação produz alteração direta do nível de competitividade da firma, cf. Dosi, Marsili, Orsenigo e Salvatore (1995).
- <sup>25</sup> Em Winter, Dosi e Kaniovsky (2000), o mecanismo de entrada de novas firmas na indústria mantém (artificialmente) fixo o tamanho da indústria.
- <sup>26</sup> Essa é uma interpretação livremente presumida (baseada parcialmente em Possas, Koblitiz *et al.*, 2001) da funcionalidade do esforço de P&D no modelo NW, já que os autores não explicitam de que forma os gastos em P&D estão relacionados com a obtenção, ou não, de máquinas e equipamentos mais produtivos adquiridos de outro setor (bens de capital) – e, em tese, disponíveis à venda indiscriminadamente.
- <sup>27</sup> Que será tanto maior quanto mais elevado for  $\phi$ . A idéia é captar em alguma medida o grau de cautela que a firma possui em suas decisões de investimento.
- <sup>28</sup>  $P(\cdot)$  é uma medida de probabilidade;  $a^m$  e  $a^n$  são parâmetros setoriais indicadores do grau de oportunidade das firmas imitadoras e ou inovadoras;  $d$  é uma variável binária do tipo Bernoulli com um parâmetro  $p$  de sucesso e  $(1-p)$  de fracasso, cujo subscrito mais à frente,  $n$  ou  $m$ , indica se se trata de inovação ou imitação, respectivamente.
- <sup>29</sup> Em que  $r_i$  é a proporção do valor do estoque de capital da firma gasto em P&D (inovativo ou imitativo). A restrição apenas indica que a probabilidade de sucesso (imitativo ou inovativo) nunca atinge seu limite superior, 1; note-se que os subscritos  $m$  e  $n$  da V.A.  $d$  foram suprimidos.
- <sup>30</sup> Há dois tipos distintos de incerteza ligados à atividade de P&D: tecnológica – que se refere às conexões entre P&D e inovação e depende tanto da natureza do processo inovativo pretendido (radical ou incremental) quanto das potencialidades da tecnologia que está sendo explorada pelas firmas; e de mercado – que afeta as ligações entre investimento em P&D e competitividade da firma e está relacionada ao impacto que a inovação terá sobre as preferências dos agentes. Para mais detalhes, cf. Oltra e Yildizoglu (1998, Seções 1 e 3).



- <sup>31</sup> *Grosso modo*, (1) o papel das inovações (*lato sensu*) como instrumento de competição e seus efeitos dinâmicos sobre a atividade econômica, indutores do processo de mudança estrutural salientado por Schumpeter; (2) o enfoque behaviorista da teoria da firma; (3) os estudos de Simon sobre racionalidade limitada e suas implicações sobre o comportamento decisório dos agentes; e (4) um aprofundamento da análise dos processos de *seleção natural*, ainda que como metáfora, introduzidos por Alchian (1950).
- <sup>32</sup> São problemas ligados à função investimento, ao processo de formação de preços e à rigidez das estratégias tecnológicas, materializadas na política de P&D. Mais detalhes podem ser encontrados em Andersen (1996, Cap. 4).
- <sup>33</sup> Mas note-se que em Keynes – diferentemente do que ocorre no modelo NW – existe um processo gradualista e contínuo de revisão das decisões de produção que, por suposição simplificadora, não produz alterações nos níveis de produção e preço determinados pela firma – o que, aliás, sempre deu margem a interpretações de que se trataria de um equilíbrio entre demanda e oferta. O uso dessa hipótese, porém, decorria de seu interesse maior em demonstrar a possibilidade de ocorrer desemprego com *equilíbrio* e, por isso mesmo, deixando de lado a discussão sobre os efeitos dinâmicos das divergências entre o valor de vendas previsto (produção e preços) e o valor de vendas realizadas [cf. Possas (1986)] – o que, definitivamente, não é o caso do modelo NW.
- <sup>34</sup> O que não deve confundir-se com a influência do conhecimento e das capacitações tecnológicas adquiridas *anteriormente* pela firma nos resultados correntes – que indica a *cumulatividade* do processo de mudança tecnológica e cuja relação com o sucesso das estratégias tecnológicas é mediada pelo impacto que as políticas de expansão (*efeito receita*) e tecnológica (revisão estratégica) das firmas têm sobre as decisões de investimento em P&D.
- <sup>35</sup> Para os propósitos deste trabalho, interessa aí mais o significado e a funcionalidade dessas idéias, para fundamentar as reformulações analíticas propostas, do que os possíveis neologismos envolvidos. Nesse sentido, importará sobremaneira saber a real proporção da parte do conhecimento tecnológico que é tácito (ou, a parte complementar desse conhecimento, que é codificado). Parte do próximo capítulo será devotada a estender esse ponto e as implicações formais que possui.
- <sup>36</sup> A analogia com os regimes financeiros de capitalização é explícita: a produtividade da firma vai sendo *capitalizada* continuamente nesse regime *cumulativo*. Como não há qualquer tipo de correlação serial entre os resultados, para um horizonte de tempo suficientemente grande, tal regime tecnológico implicaria a inexistência de esgotamento das trajetórias tecnológicas associadas: os incrementos de produtividade alcançáveis não guardam qualquer relação com os patamares de produtividade (os estágios tecnológicos anteriormente alcançados) já obtidos; ou seja, não se esgotam, já que a taxa de crescimento é fixa.
- <sup>37</sup> O conhecimento gerado pela própria atividade de pesquisa da firma e o conhecimento gerado pelos processos de pesquisa das firmas rivais que *transborda*, tornando-se público. Mesmo esse tipo de conhecimento é apropriado de forma diferenciada pelas firmas, já que condicionado pelo nível de capacitação tecnológica.
- <sup>38</sup> Winter (1984, p. 217), logo após comentar resumidamente os regimes tecnológicos (*cumulative e science-based*) e a fonte de oportunidades tecnológicas de cada um, arremata: “There are, obviously, many intermediate cases in which the innovative/imitative success of an individual firm depends in varying degrees on its own efforts, on the accomplishments of rivals, and on the expansion of technological opportunity from sources external to the industry.” Cf. também Dosi *et al.* (1995, p. 418) para observações no mesmo sentido.
- <sup>39</sup> Comportamentos racionais no sentido processual exigem, pelo menos, dois requisitos: (1) resultar de uma deliberação apropriada a partir dos meios que se julgam adequados; e (2) incorporar mecanismos que permitam uma *realimentação* contínua das decisões a partir dos resultados obtidos [cf. Simon (1987)].

- 40 No sentido de que não há como definir, prévia e independentemente das demais decisões dos agentes, uma configuração de equilíbrio que possa orientar as decisões dos agentes e torná-las mutuamente consistentes (com tal equilíbrio) em algum sentido dinamicamente estável.
- 41 O que permite uma representação mais realista do progresso técnico do tipo *incorporado* (*embodied*), uma vez que apenas parte do estoque de capital (os novos equipamentos adquiridos, seja para expandir a capacidade produtiva, seja para fazer reposição das máquinas *obsoletas*) terá sua produtividade modificada, e não todo o estoque, como no modelo NW.
- 42 Como ambas as tecnologias, embora diferentes quanto à produtividade máxima alcançável por suas *safras*, crescem suas respectivas produtividades (*incorporadas*) à mesma taxa, o custo unitário da firma depende da composição de seu estoque de capital e, por extensão, das estratégias das firmas quanto à ampliação e renovação de seu estoque de capital.
- 43 As decisões de *sucateamento* dos equipamentos – quando um equipamento deve ser repostado por obsolescência tecnológica? – seguem uma regra de *payback* [para mais detalhes, cf. Silverberg et al. (1988, p. 1.038)]. A regra de *payback period* permite ao modelo captar uma importante característica de ambientes inovativos: tanto maior é o ritmo inovativo na indústria, maior é a *pressão* sobre a firma para que *inutilize* parte de seu estoque de capital antes que sua vida potencial tenha sido atingida.
- 44 E inicialmente seu preço, por unidade de capacidade produtiva, é também mais elevado do que a tecnologia I, embora decresça 1% a cada período.
- 45 Inicialmente, todas as firmas no modelo utilizam a tecnologia I, já que a tecnologia II torna-se disponível apenas no período  $t^*$ , quando a eficiência na utilização da tecnologia I já terá *saturado* ( $s_i = 1$ ) [Silverberg et al. (1988, p. 1041)].
- 46 Mesmo as firmas que, no momento, não estão utilizando tal tecnologia, quando o fizerem, será com a *eficiência* possibilitada por  $s_p$ , isto é, a qualquer período  $\min\{s_i\} = s_p$  ( $\forall i = 1, 2, \dots, n$ ). Observe-se que essa variável dá alguma medida (inversa) dos níveis de apropriabilidade das oportunidades de lucro associadas à adoção *pioneira* de certa tecnologia potencialmente mais produtiva do que a tecnologia utilizada.
- 47 Assim como sobre o ritmo de mudança ao longo de uma trajetória tecnológica, seja pela difusão de conhecimento tecnológico que promove entre o conjunto de firmas rivais, seja pelo efeito amplificador que pode ter sobre o grau de heterogeneidade prevaiente entre as firmas.
- 48 Mas não os incrementos de produtividade ligados ao aperfeiçoamento do equipamento (que são de natureza técnico-física, e não cognitiva, ligados à automatização de tarefas), sem que isso seja considerado um tipo de inovação.
- 49 O que seria verdadeiro apenas nos casos em que as firmas operassem equipamentos idênticos, mas isso não é uma condição suficiente. É possível que certo tipo de experiência na operação prática de equipamentos seja funcional apenas conjuntamente ou dentro de certos arranjos organizacionais, de forma articulada, donde segue-se que membros desse conjunto, tomados isoladamente, não são capazes de reproduzir ou mesmo transferir os benefícios desse esquema operacional.
- 50 Em termos cognitivos, a experiência acumulada através da repetição de certa tarefa permite que um processo (inicialmente) controlado – tarefas realizadas de forma relativamente lenta, de natureza seqüencial, exigindo esforço e sob controle consciente – se converta em um processo automatizado, passando a exigir níveis relativamente baixos de processamento cognitivo e atenção. A respeito dos efeitos da prática sobre a automatização, os psicólogos formularam o que se chama de “curva de aceleração negativa”, que evidencia o efeito positivo, embora decrescente, da prática sobre a automatização de certa tarefa [Sternberg, (1996, Caps. 3 e 4)], ou seja, a taxa de aprendizagem decresce monotonicamente à medida que aumenta a experiência. Mesmo tarefas complexas – que exigem esforço consciente intenso – podem ser relativamente automatizadas. Sobre o processo de automatização de tarefas, cf. Logan (1988).

- <sup>51</sup> No modelo NW, era suposto implicitamente que as firmas vendiam tudo que produziam – e operavam sempre a plena capacidade produtiva. No modelo SDO, também não há qualquer influência *direta* das condições de demanda sobre as decisões de produção: o nível-produção é ajustado apenas para compensar desvios entre o atraso de entrega da firma e o nível-*padrão* dessa mesma variável para a indústria. Mesmo as decisões de ampliação da capacidade produtiva são determinadas por uma taxa exógena.
- <sup>52</sup> Cujas estrutura analítica praticamente reproduz as mesmas equações do modelo SDO, exceto por ter sido introduzida, em ambos os setores, a influência do lado da demanda nas decisões de produção das firmas.
- <sup>53</sup>  $Y_m(t)$  é uma média móvel da renda agregada até o período  $t$  – o que pode ser visto como uma *proxy* do desenvolvimento econômico e científico. A idéia incorporada no modelo é que padrões sustentados de crescimento da renda tornam mais prováveis os desenvolvimentos de possibilidades tecnológicas superiores potencialmente utilizáveis.
- <sup>54</sup> Parâmetro esse que procura representar o estado das oportunidades científicas [Chiaromonte e Dosi (1993, p. 118)], amplificando, ou não, o efeito do crescimento da renda sobre a probabilidade de sucesso nesse estágio.
- <sup>55</sup> Em que  $h$  é uma taxa exógena para a qual se desloca a *fronteira* potencial do conjunto de oportunidades inovativas, representando, *grosso modo*, a eficiência da economia em traduzir a exploração das oportunidades científicas em *padrões* tecnológicos superiores aos padrões atualmente explorados – do ponto de vista produtivo.
- <sup>56</sup> Que, para um dado salário, determina o número de trabalhadores no *departamento* de P&D.
- <sup>57</sup> As firmas possuem uma regra para decidir quanto da receita do período prévio ( $S_i$ ) será destinado para investimentos em P&D ( $I_i(t)$ ) no período seguinte:  $I_i(t) = \mu_i \cdot S_i(t-1)/w(t)$ , em que  $0 < \mu_i < 1$  e é específico à firma; e possuem uma regra alocativa desses recursos entre os dois tipos de P&D, inovativo e imitativo:  $I_i^g(t) = \zeta_i \cdot I_i(t)$  e  $I_i^m(t) = (1 - \zeta_i) \cdot I_i(t)$ , em que  $\zeta_i \in (0,1)$  também é específico à firma.
- <sup>58</sup> Essa idéia de que a capacitação tecnológica da firma limita seu espaço de busca e que o processo imitativo é facilitado pelo grau de difusão de uma técnica já estava, ainda que de forma mais simplificada, presente no modelo de crescimento – mas não no de competição schumpeteriana – introduzido no Capítulo 9 [cf. Nelson e Winter (1982, p. 211)].
- <sup>59</sup> O conjunto de técnicas potencialmente copiáveis para a firma  $i$  no momento  $t$ ,  $Z_i(t)$ , é representado pelo conjunto de máquinas ou técnicas *conhecidas* (não necessariamente utilizadas na produção) dos agentes no setor 1,  $X(t)$ , exclusive as técnicas já conhecidas pela própria firma  $i$ . Formalmente:  $Z_i(t) = \{z_k(t) : z_k(t) \in (X(t) \setminus K_i^c(t))\}$ .
- <sup>60</sup> No entanto, o modelo não especifica qualquer tipo de dependência entre a demanda do setor de bens finais (para onde se dirige os gastos dos trabalhadores) e a massa salarial paga em ambos os setores. Por isso, não explora o efeito de uma redução do emprego (causado, e.g., por progresso técnico com viés *poupador* de trabalho) sobre o nível de produção das firmas do setor 2 e, por extensão, sobre o nível de produção do setor de máquinas e equipamentos (em ambos os casos, por meio da demanda). Esse processo, claramente retroalimentado de forma sequencial, tenderia a reforçar permanentemente, *caeteris paribus*, a redução do nível de emprego e o rebaixamento das expectativas de demanda em ambos os setores. Duas implicações óbvias e conexas poderiam ser observadas: a primeira é que o salário é, antes de tudo, um componente de demanda; a segunda, que o progresso técnico, em geral, pode envolver (dependendo de seu viés, que normalmente é *poupador* de trabalho) permanente realocação da força de trabalho entre setores – não necessariamente garantindo o mesmo nível de ocupação anterior.

- <sup>61</sup> Um exemplo ilustrativo: duas firmas, A e B, operando no mercado há  $k$  períodos e que em um certo período  $t > k$  possuem gastos equivalentes em P&D – conquanto possuam *históricos* inovativos diferentes, ainda assim, a capacidade inovativa de A e B – a probabilidade de ter um sucesso inovativo – seria equivalente pela formulação utilizada, o que é flagrantemente irrealista. Esse problema ficaria mais evidente caso se comparasse firmas que já operam no mercado – já possuem experiência em P&D – com firmas que entraram recentemente no mercado.
- <sup>62</sup> Muito embora as referências feitas ao modelo remetam ao *paper* publicado por Possas et al. (2001), o modelo foi originalmente desenvolvido principalmente por Possas e Koblitz, daí porque PK [cf. também Possas e Koblitz (2001)].
- <sup>63</sup> Por exemplo: há uma taxa de juros (exógena) que, pela influência que exerce sobre parte dos recursos utilizáveis no seu financiamento (os recursos externos), condiciona as decisões de investimento da firma.
- <sup>64</sup> Mas não só. A presença de uma variável (nível desejado de recursos líquidos) que representa uma espécie de demanda precaucional por moeda, para fazer frente a ocorrências não-esperadas – erros de previsão de demanda, flutuações inesperadas de taxa de juro –, também reflete a influência keynesiana no modelo.
- <sup>65</sup> São passíveis de discussão a razoabilidade desse tipo de expectativa e o tipo de regra que ele implica como aproximação dos procedimentos reais dominantes utilizados pelas firmas, em uma economia descentralizada e interdependente, para realizar cálculos preditivos. Talvez a simples extensão do horizonte temporal que serve de referência para o cálculo projetivo, de forma a torná-lo sensível a sazonalidades nos padrões de comportamento, no caso, das vendas, fosse suficiente para reduzir o grau aparente de *miopia* da regra. Por outro lado, se de fato esse padrão expectacional é pouco representativo daquele utilizado pelas firmas, é preciso saber se, teoricamente, a regra extrapolativa utilizada é responsável, mesmo que indiretamente, por uma amplificação artificial dos desequilíbrios *normais* (sob um padrão expectacional *não-míope*, mas nem por isso *racional*, no sentido de Lucas) da dinâmica competitiva de uma indústria – pelo pessimismo (ou otimismo) que incorpora. Em todo o caso, é razoável acreditar que eventos como um excesso (ou *insuficiência*) recente de encomendas devem exibir algum grau de persistência antes de induzir as firmas a modificarem suas estratégias, o que, aliás, parece compatível com sugestão do próprio Keynes (1983, p. 45). A questão se reduz, ao que parece, a saber se tomar em conta os resultados observados, por exemplo, no mesmo período do ano anterior remete a um passado longo o suficiente para que seja rejeitada sua influência sobre as expectativas a curto prazo.
- <sup>66</sup> Tornando clara também a influência das firmas com maior *market share* sobre a determinação do preço médio na indústria.
- <sup>67</sup> Os ajustes que a firma realiza em seu *markup* desejado, em razão da redução de custos provocado pela incorporação de uma técnica mais produtiva, podem determinar em que medida sua competitividade será alterada e, portanto, a variação que pode ocorrer em seu *market share*.
- <sup>68</sup> Ainda que esse processo de mercado apareça apenas implicitamente. O aumento da participação de mercado das firmas que aumentam sua competitividade relativa – em razão, indiretamente, de um sucesso inovativo – apenas ratifica a *migração* para essas firmas, em função de preços mais atrativos, de parte dos consumidores *fiéis* a outras firmas nessa indústria.
- <sup>69</sup> Qualquer que fosse o caso ( $k = 1$  e  $p' >> p$ , digamos), a menos que fossem feitas hipóteses *heróicas* sobre nível de preços e padrões de demanda, deveria ser a taxa de variação e não a variação absoluta das vendas entre  $t - 1$  e  $t - 2$ .
- <sup>70</sup> Como, aliás, observa Possas (2002, p. 129), referindo-se a uma consequência da adoção de regras de decisão que são satisfatórias (*à la* Simon), e não baseadas em maximização: “os agentes buscam de alguma forma defender-se contra os possíveis prejuízos decorrentes dos (inevitáveis) erros de previsão”.

- <sup>71</sup> Cujas implicações seriam a supressão “da presença de incerteza forte” (Possas, 2002, p. 129). Mas, vale repetir, não se trata de adotar um critério bayesiano de revisão das expectativas de venda pela firma (que, como notou-se, acabam por determinar suas decisões de produção e investimento) ou suprimir, de um outro modo, a incerteza dos agentes (firmas), seja *forte* ou de outro tipo qualquer.
- <sup>72</sup>  $\pi_{i,t}^F$ , a produtividade da melhor técnica disponível, que nada mais é que a opção de maior valor dentre as possibilidades de escolha existentes:  $\pi_{i,t}^F = \max\{\pi_{i,t-1}^F, \pi_{i,t}^N, \pi_{i,t}^M\}$ , em que as duas últimas possibilidades representam os resultados obtidos quando de sucessos inovativo e imitativo, respectivamente.
- <sup>73</sup> Não há menção sobre o aumento da produtividade média da firma – e, portanto, de sua capacidade produtiva – resultante do investimento em modernização (cf. Possas, 2002, principalmente p. 351-6). Ao que parece, o investimento em modernização também possui um tempo de *maturação* (idêntico àquele relativo ao investimento desejado em ampliação da capacidade) até que a mudança de produtividade que implica se efetive. Isso, se verdadeiro, dispensaria modificações no próprio cálculo da firma sobre o aumento desejado de capacidade produtiva, caso o aumento da capacidade produtiva provocado pelo investimento em modernização fosse imediato.
- <sup>74</sup> Na situação em que  $I_{i,t}^{*F} > F_{i,t} > 0$ , a solução torna-se um pouco mais complicada, porque pode envolver *preferências* sobre certas alocações de recursos financeiros que privilegiem *alguma* modernização do maquinário, ainda que o percentual da ampliação de capacidade desejada e necessidades de reposição por depreciação assim obtidos possam ser inferiores ao resultado conseguido *sem* qualquer modernização. Definindo  $v^s$ ,  $v^{m*}$  e  $v^m$  como o percentual de  $(\Delta \bar{x}_{i,t}^* + \bar{x}_{i,t}^{\delta})$  obtido com o investimento (que pode ser financiado por  $F_{i,t}$ ) (1) sem modernização do capital, (2) apenas modernizando o capital e (3) com algum grau de modernização, respectivamente, teríamos o seguinte problema de escolha: se  $A(v_0)$  é a alocação dos recursos financeiros associada à  $v_0$ , então a alocação *ótima* feita pela  $i$ -ésima firma seria  $A(v_{i,t}^e)$ , em que  $v_{i,t}^e = \max\{v^s, v^{m*}, v^m\}$ .
- <sup>75</sup> Há na literatura sobre organização industrial um número razoável de referências à relevância da atividade de desenvolvimento científico e tecnológico, ainda que diferenciada entre setores, mas em caso algum desprezível, para a atividade inovativa. Tal literatura se refere não apenas à relevância de desenvolvimentos técnicos oriundos de outros setores e cujas aplicações guardam maior conexão (direta) com a atividade e os processos de produção utilizados (e.g., a indústria de computadores e a de semicondutores), mas também à importância das oportunidades de inovação oriundas da própria atividade de pesquisa (básica e aplicada) desenvolvida pelo sistema universitário e pelos laboratórios públicos e privados de pesquisa. Cohen e Levinthal (1989, p. 570, nota 2) citam uma lista relativamente extensa de trabalhos que apontam para o mesmo fato, a saber: grande parte das inovações em vários setores (ou o conhecimento utilizado na solução de problemas ou *gargalos* tecnológicos) originou-se de desenvolvimentos exógenos aos setores em questão [cf. também, nesse sentido, Freeman (1994), Nelson (1995) e Malerba e Orsenigo (2000)].
- <sup>76</sup> O aumento da probabilidade de ter sucesso tecnológico não está diretamente ligado aos resultados das estratégias tecnológicas das firmas. É razoável também estendermos essa cumulatividade para as firmas, que, por propensão a risco menor ou por possuírem “expectativas tecnológicas” pouco otimistas com relação às oportunidades tecnológicas existentes, consideram mais vantajoso investir em capacitações e em um tipo de conhecimento interno mais apropriado para *copiar* tecnologias de fronteira na indústria.
- <sup>77</sup> Como, aliás, parece sugerir Coombs (1988, p. 299); ou, então, se trata de um *market feedback*. Sobre o tipo de cumulatividade existente no modelo NW, observe-se que a vantagem corrente que a firma inovadora ou imitadora bem-sucedida no passado possui é decorrente da vantagem de custo que a inovação obtida nesse período permitiu, que, por sua vez, abriu espaço para

preços menores e, portanto, para aumento da parcela da demanda total do mercado que a firma detém; o aumento das vendas aumenta a receita e, por extensão, o investimento em P&D, tornando, só assim e agora, maior a probabilidade de ter sucesso tecnológico a partir do investimento corrente em P&D. Essa aparente cumulatividade tecnológica do modelo NW, não bastasse derivar em grande parte da rigidez das estratégias de P&D – já referidas no capítulo anterior –, tem por trás um ciclo de mediações que, embora não seja instantâneo, possui um *timing* provavelmente mais longo e carregado de condicionantes (note-se que a distribuição das vantagens de custo entre preço e *markup* deve recair preponderantemente sobre o primeiro) do que aquele que possa estar implícito no mecanismo de realimentação que estamos propondo aqui – e que não exclui ou invalida aquele – de natureza tecnológica.

- <sup>78</sup> Ainda que o resultado do esforço de P&D da firma (sucesso ou fracasso) seja um resultado estocástico, é razoável aceitarmos que tal resultado, em maior ou menor medida, reflete a estrutura organizativa da atividade de P&D, a exequibilidade do projeto selecionado e a divisão dos recursos nos diversos estágios que podem envolver a execução de tal atividade. Sobre esses e outros aspectos da atividade de P&D, ver Kay (1988).
- <sup>79</sup> Essa é uma típica estrutura de probabilidade do tipo markoviana. Vale lembrar que a sentença é válida para  $d^m$  também, cuja equação foi omitida por simplificação.  $d^n$  e  $d^m$  representam as variáveis binárias cujo resultado, 0 ou 1, indica nos modelos referidos o sucesso do P&D inovativo e imitativo, respectivamente. Cf. a Seção 2.2.4 deste trabalho. Manteremos a notação e o significado.
- <sup>80</sup> Sobre a cumulatividade ligada à influência que o histórico tecnológico da firma deve ter sobre o resultado de suas estratégias tecnológicas, ver, por exemplo, Dosi, Marsili *et al.* (1995, p. 419), Nelson (1995, p. 50), Dosi (1991b, p. 81), Dosi (1997, p. 1.534), Malerba e Orsenigo (2000, p. 302) e Possas (1989b, p. 171). Esse último, por exemplo, no trecho citado, afirma que “o prêmio ‘schumpeteriano’ pela liderança bem-sucedida na inovação pode ser alto e dar lugar a vantagens rapidamente cumulativas”. Malerba e Orsenigo, no trecho citado, observam que as condições de cumulatividade de um regime tecnológico estabelecem que “current innovative firms are more likely to innovate in the future in specific technologies and along specific trajectories than non-innovative firms”.
- <sup>81</sup> É possível questionar qual a unidade de análise (ou quais) a que é possível imputar capacidade de aprendizado, ou seja, quem é capaz de aprender e transferir conhecimento: firmas ou indivíduos? Esse tipo de distinção (e suas possíveis implicações), ainda que tenha importância, está além do escopo do trabalho e não comprometerá o que será desenvolvido a seguir.
- <sup>82</sup> Vale a pena reproduzir passagens de ambos: Dosi (1988, p. 1.165) afirma em conclusão que “In the new view, appropriability; partial tacitness; specificity; uncertainty; variety of knowledge bases, search procedures, and opportunities; cumulativeness; and irreversibility have been recognized as *general features* of technological progress”; Possas (1989a, p. 170) é mais incisivo sobre o esforço de P&D da firma e suas implicações: “(...) constitui o economicamente mais importante meio de aprendizado, não apenas por envolver dispêndios significativos, mas por representar (em geral) o principal mecanismo cumulativo de aprendizado, através da acumulação ‘tácita’ de conhecimentos que realimenta o processo de busca de inovações e aperfeiçoamento de produtos e processos”.
- <sup>83</sup> Ainda que tenha efeito, ele ocorre de modo indireto, através de uma série de mediações semelhantes àsquelas que descrevemos anteriormente (cf. nota 77).
- <sup>84</sup> Com algumas simplificações e esforço interpretativo, essa taxa de depreciação única que incide sobre o estoque de conhecimento previamente adquirido poderia ser vista como uma *média* que condensaria, de forma aproximativa, a depreciação de natureza cognitiva (sobre a parte tácita) e de natureza *tecnológica* (sobre a parte codificada) que estamos propondo aqui. Ainda assim, isso pode produzir vieses porque não capta assimetrias importantes na composição do conhecimento e das capacidades acumulados que a firma explora.

- <sup>85</sup> Na ausência de sucesso das estratégias subseqüentes, os benefícios dos sucessos obtidos anteriormente tendem a ser transitórios porque decrescem à medida que a firma ultrapassa as fases de exploração das oportunidades tecnológicas. Esse ponto e sua justificativa serão retomados mais adiante.
- <sup>86</sup> Logo, também sobre o grau de concentração da indústria. Ver a respeito, por exemplo, Possas et al. (2001 p. 363).
- <sup>87</sup> Com a expressão “exploração das oportunidades tecnológicas” quero referir-me ao processo (intertemporal) de transição entre o nível de produtividade da melhor tecnologia de que a firma dispõe no período  $t$  e o nível de produtividade (superior) da fronteira tecnológica da indústria que a firma (inovativa) acessa quando bem-sucedida em seu esforço de P&D. *Mutatis mutandi*, o mesmo vale para as firmas imitadoras.
- <sup>88</sup> Sobre tudo se se tem em mente as referências feitas por Dosi (1984, p. 159, e 1988, p. 1.128) à multidimensionalidade dos *trade-offs* (tecnológicos e econômicos) envolvidos no progresso técnico ao longo de uma trajetória estabelecida.
- <sup>89</sup> A idéia que perpassa fundamentalmente o modelo que será apresentado é que o conhecimento tecnológico (tácito e codificado) que a firma utiliza em sua atividade inovativa é cumulativo. Indicações nesse sentido podem ser vistas em resenha da literatura sobre mudança técnica feita por Freeman (1994, especialmente a Seção 2).
- <sup>90</sup> Observações que qualificam a contribuição da ciência para a atividade industrial podem ser encontradas em Pavitt (1993). Referências a trabalhos empíricos que apontam para a crescente importância das descobertas científicas para a atividade inovativa da firma podem ser encontradas em Freeman (1994, p. 469).
- <sup>91</sup> Representadas por todo um conjunto de tecnologias cujas produtividades são maiores do que aquela que a firma possui inicialmente, mas superiormente limitadas pelo nível que é dado pela fronteira tecnológica.
- <sup>92</sup> Em que pese a dificuldade em dar uma contrapartida formal para a interação complexa existente entre ciência e tecnologia, há uma série de evidências indicando, em primeiro lugar, que o progresso técnico é produto da atividade de P&D, auxiliada em grande medida pelos desenvolvimentos científicos; e, em segundo, que o próprio progresso científico, sobretudo na parte aplicada, depende – ou, em alguns casos, é precedido –, sobremaneira, do desenvolvimento tecnológico. Como observam Nelson e Rosenberg (1995), o aumento das tecnologias baseadas em ciência tornou mais estreitas as ligações entre ciência e tecnologia – o que acaba por tornar crucial a pesquisa científica desenvolvida nas universidades para o avanço tecnológico de alguns setores.
- <sup>93</sup> As interações da ciência com a tecnologia (e dentro da ciência e da tecnologia, em si mesmas) são complexas: é provável que o progresso interno de algumas disciplinas em um momento  $t$  (e.g., física, química, biologia, computação etc.) afete de modo positivo o progresso de outras disciplinas (e.g., engenharia de materiais, robótica, microeletrônica etc.), em uma interação causal bidirecional que pode ser intertemporalmente contínua, transbordar para outras áreas e cujo esgotamento (se houver) de efeitos dependeria da redução contínua (até a nulidade) da influência que os avanços produzidos em outras disciplinas viesse a ter sobre as fontes (que podem envolver *insights* ou mesmo habilidades pessoais na coordenação de processos mentais requeridos) do progresso inicial. Seria essa, *grosso modo*, a relação ciência-ciência. De modo semelhante, mas em um plano envolvendo estritamente a atividade tecnológica das firmas dos vários setores de uma economia, há também uma correlação entre o progresso técnico de um setor e a intensidade de P&D nos demais setores (e.g., setor agrícola e setor de máquinas e equipamentos). Analogamente, essa seria a relação tecnologia-tecnologia. Observe-se, agora, que o progresso interno de algumas disciplinas pode também ser impulsionado pelo desenvolvimento de novos instrumentos e de novas máquinas criados a partir do próprio conhecimento tecnológico da firma ou setor. O inverso é também usual. Nessas relações residiriam as interações da ciência com a tecnologia. No entanto,



e sem embargo desse esforço de separação de *feedbacks*, há entre todas essas relações uma forte imbricação – e aí está a complexidade da questão –, embora seja preciso dizer que sua intensidade, e mesmo algumas dessas ligações, sejam relativamente recentes.

- <sup>94</sup> Conhecimento e capacitações tecnológicas não se referem a coisas distintas, de modo que convém lembrar, a fim de evitar que a referência a esses elementos seja vista como fonte de ambigüidade, que “*technological competences* refer to shared pieces of scientific and technological knowledge and routines concerning essentially the structure of nature and how to handle it” [Dosi e Coriat (2002, p. 286)].
- <sup>95</sup> Cohen e Levinthal (1989) elaboraram um modelo em que o estoque de conhecimento, à medida que cresce, afeta positivamente (a taxas decrescentes) a taxa de lucro da firma, mas esse modelo é distinto do que está sendo proposto aqui, não só porque é estático (*ibidem*, p. 571), mas também porque assume hipóteses distintas daquelas aqui utilizadas: as firmas são simétricas, estão em equilíbrio – os gastos em P&D foram *definidos* de modo a serem mutuamente consistentes – e decidem sua política de P&D com base em critérios de maximização. Essas hipóteses se prestam a objetivos menos gerais e diferentes do que pretendemos: os autores utilizam uma ampla base de dados para, com base no modelo teórico que propuseram, fazer estimativas dos efeitos que a facilidade do aprendizado, as oportunidades tecnológicas e os *spillovers* (simétricos) têm sobre as estratégias ótimas de P&D. O modelo aqui, por sua vez, se presta à análise da dinâmica geral de uma indústria (evolução estrutural, desempenho competitivo e tecnológico). Contudo, a idéia de que o esforço em P&D possui um papel dual (gera inovação e aumenta a capacidade de absorção de conhecimento externo da firma), que estará presente no modelo, baseia-se nesse trabalho.
- <sup>96</sup> É admissível conceber que, nesse processo de combinação e seleção do conhecimento recém-adquirido com o conhecimento previamente acumulado, uma parte relativamente maior do conhecimento que a firma adquiriu nos períodos mais recentes esteja mais presente na composição da base de conhecimento da firma. Nossa formulação do processo de *depreciação* do conhecimento tecnológico captará esse aspecto.
- <sup>97</sup> Para evitar confusão com os subscritos de tempo de variáveis cuja influência sobre a base de conhecimento é defasada em um período, considere-se, sem perda de generalidade, que  $\Delta Z_t = Z_t - Z_{t-1}$  (e não entre  $t + 1$  e  $t$ ); embora sabendo que  $\Delta$  é a contrapartida analítica do operador  $d/dt$  em tempo discreto, nada impede que se use esse último para, em algumas passagens, analisar as propriedades teóricas de algumas especificações do modelo.
- <sup>98</sup> Observe-se que  $\mathbf{1}' = [a_{l,k}]$ ;  $a_{l,k} = 1 \quad \forall \quad k = 1, 2, \dots, t-1$  quando  $l = 1$  ou  $\forall \quad l = 1, 2, \dots, t-1$  quando  $k = 1$ . Num caso ou noutro,  $\mathbf{1}' \in \Re^{t-1}$ .
- <sup>99</sup> Há por trás desse raciocínio um modelo de memória postulando que (1) o *armazenamento* do conhecimento é tanto mais consolidado (facilmente reutilizável) quanto maior é o seu grau de codificação e que (2) os indivíduos desempenham suas tarefas utilizando uma memória (*procedural*, digamos) que integra elementos codificados contidos na “memória de longo prazo” e que foram recentemente ativados com o conteúdo mais recentemente aprendido e ainda não-codificado. Existem, contudo, outros modelos de memória, mas essas proposições são compatíveis com as principais perspectivas, dentro da psicologia cognitiva, acerca do processo de organização da memória [ver, por exemplo, Baddeley (1990, esp. Caps. 3 e 11) e Sternberg (1996)].
- <sup>100</sup> McKelvey (1998, p. 163), por exemplo, observa que “another interesting aspect is that displaying the ability to do something physical requires continuous practice to keep the tacit knowledge and reaction time at the top. Learning is thus based on doing as well as understanding, and tacit aspects of an activity can be forgotten even though the codified aspects are remembered”. Similarmente, Dosi e Coriat (2002, p. 301) notam que “organizational learning is obviously linked with the change of individual skills – *sometimes indeed with the loss of some of them* –, but also with changes of collective representations, rules, and even of hierarchical set-ups” (grifos nossos).



- <sup>101</sup> Aqui inferidos pela taxa de crescimento da base de conhecimento da firma  $i$  entre o período próximo passado ( $t - 1$ ) e o período ( $t - k$ ), em que a parte que está sendo *depreciada* foi incorporada à base de conhecimento da firma.
- <sup>102</sup> A razão para não ser o contrário (a taxas crescentes) é simples: o conhecimento tácito associado às capacitações mais *antigas*, ainda que esteja relativamente mais sujeito à *depreciação vis-à-vis* aquele associado às capacitações tecnológicas mais recentes, muito provavelmente possui um grau considerável de consolidação na base de conhecimento da firma.
- <sup>103</sup> Que por si só afeta de modo adverso as expectativas tecnológicas (dos equipamentos em uso) das firmas – além de majorar os custos de oportunidade associados à compreensão de códigos e manuais baseados em fundamentos teóricos e experimentos que dão indícios de desatualização.
- <sup>104</sup> Após comentarem sobre as características da base de conhecimento da firma (complexidade, divisibilidade, grau de codificação e outras), Malerba e Orsenigo (1997, p. 97) observam que “some of these features of knowledge may change during the evolution of a specific sector or technology (degree of codification, independence and complexity)”. Na mesma direção, e de modo mais enfático, vai Balconi (2000, p. 13): “Finally, technologies differ as to the level of standardization and maturity. Mature technologies embody the result of past learning and do not in general present problems whose solutions require human problem solving activity. Their know-how tends to be fully codified and supplied by plant makers to plant users.”
- <sup>105</sup> Cf. Grimaldi e Torrisi (2001, p. 4) para ver referências a alguns autores que apontam para uma divisão rígida do conhecimento entre tácito e codificado. Eles observam que “This body of studies shows that the boundaries between tacit and codified knowledge vary across industries and are affected by product complexity and the rate of technical change”.
- <sup>106</sup> Há, contudo, dificuldades em verificar o grau inicial de codificação mediante constatações empíricas, de maneira que um exame do modelo sob diferentes especificações numéricas desses parâmetros é necessário para avaliar sua influência nos resultados do modelo.
- <sup>107</sup> Na verdade, estamos considerando que o processo de exploração das oportunidades inovativas exibe fases distintas e é esgotável. Nesse sentido, observar o que dizem Dosi (1988), Gort e Wall (1986), Sahal (1981) e Winter (1984). Esse último, em particular, sugere que “A great deal more can be done, within the framework of the model [Nelson-Winter] to trace the implication of regime differences for the course of industrial development. For example, it would be interesting to explore cases in which the externally generated technological opportunities, represented by latent productivity advance to decelerate over time, perhaps after an initial phase in which the increased application of R&D resources more than counterbalanced the diminution of the stock of unexploited opportunities.” E enfatiza logo em seguida que “The case is worth examining partly because the pattern of decelerating progress is often taken to be a stylized fact about industrial development”. Esse ponto será retomado mais à frente.
- <sup>108</sup> A codificação também serviria como processo de enfraquecimento das “barreiras cognitivas” à entrada de novas firmas na indústria; ver, a respeito, Balconi (2000).
- <sup>109</sup> Um texto bastante referido na literatura que destaca esse aspecto é o já citado de Cohen e Levinthal (1989). Outras referências a essa dualidade também podem ser encontradas, por exemplo, em Freeman (1994), Nooteboom (1999), Tirole (1988) e Llerena e Oltra (2000). Tirole (1988, p. 400), por exemplo, atribui essa dualidade a uma possível função compensatória para as firmas, que, mesmo perdendo a *corrida de patentes*, poderiam ainda “imitate the winner’s discovery if he has kept abreast of the recent developments in the field”. Bell e Pavitt (1993, p. 164) observam também que “In the developed countries, leading companies’ expenditures on R&D (i.e. their investment in *creating new knowledge, and in assimilating it from elsewhere*) are now often larger than their investment in fixed capital” (grifos nossos) – embora essa característica possa ser generalizada para o caso dos setores, em qualquer economia industrializada, em que as firmas sistematicamente fazem P&D.

- <sup>110</sup> Vale lembrar que as equações que indicam como são determinados preço e *market share* foram apresentadas na análise do modelo PK (Seção 2.2.4) e serão reproduzidas por completo no Apêndice A.
- <sup>111</sup> Uma argumentação nessa direção está em Bell e Pavitt (1993, p. 161 e *passim*); a seguinte passagem (p. 161) é bastante ilustrativa e serve como síntese da idéia: “Firms must accumulate the deeper forms of knowledge, skill and experience required to generate continuing paths of incremental change, which both improve on the original performance standards of the technology in use, and modify its inputs, outputs and process in response to changing input and product markets. They may also strengthen their capabilities for seeking out and acquiring technology from other firms and economies”. Eles ainda acrescentam que “This typically entails a complex and creative process which is obscured by simple terms like ‘technology adoption’ or ‘technology choice’”.
- <sup>112</sup> Os benefícios que uma firma pode obter da atividade de P&D das demais firmas na indústria, ou mesmo da atividade de pesquisa conduzida por firmas de outros setores ou instituições públicas de pesquisa, não necessariamente exigem um arranjo institucional formal que regule ações coletivas cooperativas entre esses agentes; assim, as *externalidades positivas* que a atividade de P&D de uma firma pode produzir para outras firmas rivais podem independender de qualquer tipo de arranjo ou rede cooperativa entre elas. Referências a trabalhos que fazem distinção entre *spillovers* “intencionais” e “não-intencionais” podem ser vistas em Grupp (1996, p. 176).
- <sup>113</sup> Cf. lista de referências em Cohen e Levinthal (1989, nota 2). Ver ainda Griliches (1992), Caniëls e Verspagen (2001) e Malerba (1992). Griliches (1991, p. 1), *apud* Grupp (1996, p. 194), observa que “taken individually, many of the studies are flawed and subject to a variety of reservations, but the overall impression remains that R&D spillovers are both prevalent and important”.
- <sup>114</sup> Observe-se que tais valores já são conhecidos em  $t$ , de maneira que não há inconsistência lógica ou *deadlock*, já que a variável que está sendo definida,  $S_{i,t}$ , é um dos elementos que definem  $\Gamma_{i,t}$ .
- <sup>115</sup> Esse tipo de tratamento à questão do conhecimento tecnológico, inferindo-o a partir do esforço de P&D ou de alguma outra medida de investimento em pesquisa básica e ou aplicada feito pela firma (e.g., o número de trabalhadores alocados no setor de pesquisa da firma), não só é utilizado em modelos formais já referidos – que tentam incorporar o papel do conhecimento na determinação, por exemplo, das trajetórias de crescimento – ou mesmo amplamente utilizado nos trabalhos econométricos, como dificilmente se pode escapar dele, e basicamente porque inexistente alguma medida *pura* de conhecimento tecnológico. Assim, não é possível incorporá-lo em um modelo de competição entre firmas sem que se recorra, como uma aproximação teórica razoável, ao próprio gasto que a firma realiza no intuito de aumentar sua base de conhecimento e sua capacitação tecnológica. Do contrário, estaríamos implicitamente admitindo que o conhecimento é um bem *dado* cuja assimilação e cujo domínio seriam igualmente factíveis para, no presente caso, qualquer das firmas da indústria, independentemente do quanto ela investe em P&D e de outras possíveis diferenças. É suficiente, para validar esse tratamento teórico, reconhecer que entre o conhecimento tecnológico de uma firma e seu gasto em P&D existe uma relação positiva.
- <sup>116</sup>  $n \approx 8$  para um  $v \geq 1/2$ . Mais geralmente, a relação entre  $n$  e o parâmetro de assimetria  $v$  seria tal que, quando  $v \rightarrow 0^+$ , então  $n \rightarrow +\infty$ .
- <sup>117</sup> Nesse sentido, ver Possas (1989a, p. 170), que entre os vários mecanismos de aprendizado de que dispõe a firma aponta também para “o desenvolvimento de ‘externalidades’ intra e interindustriais, que inclui difusão de informação, mobilidade de mão-de-obra especializada e crescimento dos serviços especializados”.
- <sup>118</sup> Do contrário, seria possível, em um modelo multisetorial, dar um tratamento endógeno (1) para a determinação dos recursos públicos destinados à pesquisa – podendo-se, inclusive, especificar uma alocação entre pesquisa básica e aplicada, já que uma e outra podem contribuir de maneira distinta para cada tipo de setor – e (2) para a interseção, maior ou menor, que a atividade de P&D

nos demais setores guardaria com um e outro setor. Mas esse é um esforço complexo que, provavelmente, exigiria simplificações (já que os setores em um modelo desse tipo são bastante estilizados e com alto grau de generalidade) que talvez não melhorassem substancialmente os resultados.

- <sup>119</sup> É evidente que as mudanças no esforço médio de P&D de nossa indústria associadas apenas a mudanças no peso relativo das firmas podem produzir alterações nessa medida aproximada do gasto em P&D *externo*. Desde que as firmas possuam compromissos permanentes de investir em P&D, isso alteraria drasticamente a medida dos *spillovers extra-industriais* se houvesse algum tipo de revisão estratégica que permitisse, por exemplo, que uma firma que alcançasse um elevado patamar de *market share* se desobrigasse a investir em P&D até que sua competitividade relativa fosse reduzida ou mesmo ameaçada por uma firma rival *forte* o suficiente. Mas esse não é o caso do presente modelo.
- <sup>120</sup> Whitley (2002, p. 498), ao comentar as diferenças entre acordos de cooperação envolvendo firmas e instituições públicas de pesquisa e aqueles que envolvem as firmas de uma mesma indústria, observa que “the results, techniques and intellectual approaches involved in current research in the public sciences tend to be more generic than specific to particular materials, phenomena and technologies, and are often remote from current industrial concerns and practices”.
- <sup>121</sup> Definiremos por convenção, para o caso em que  $k = 1$ , que  $\tilde{d}_{i,t} = 0$ .
- <sup>122</sup> A normalização serve para evitar que, usando apenas  $\Gamma_{i,t}$ , tenhamos de acrescentar novos parâmetros de ajuste em seus determinantes, visando evitar que tome valores que possam produzir uma probabilidade de ter sucesso sempre unitária, ainda que a indústria esteja em sua fase inicial.
- <sup>123</sup> As inovadoras porque as firmas que procuram imitar podem fornecer indicações de aperfeiçoamentos tecnológicos em seu próprio equipamento não percebidos durante a fase de elaboração do projeto ou mesmo porque algumas firmas imitadoras podem deter uma tecnologia superior à sua; as imitadoras, por sua vez, porque as firmas inovadoras possuem as capacitações tecnológicas que permitiram a elas (as imitadoras) obterem a tecnologia que desejam copiar; e de firmas do mesmo tipo porque pode haver um grau razoável de complementaridade ou sinergias, já que compartilham do mesmo tipo de orientação estratégica do ponto de vista tecnológico.
- <sup>124</sup> O conhecimento e as capacitações tecnológicas acumuladas impulsionam um mecanismo de causação cumulativa que introduz *feedbacks* positivos (Arthur, 1988) que também serão responsáveis pela criação de assimetrias competitivas: observe-se que o sucesso tecnológico abre espaço para a obtenção de vantagens competitivas que podem permitir à firma obter um volume de vendas maior, logo, permitindo ampliar os recursos dedicados ao esforço de P&D. Daí por diante, os desdobramentos são, essencialmente, os seguintes: maior capacidade de absorção, que irá permitir internalizar um volume maior de *spillovers*, ampliando, ao fim de tudo, sua base de conhecimento e de capacitação tecnológica, o que, pela equação (71), significa o aumento da probabilidade de ser bem-sucedida em suas estratégias de *busca* nos períodos subseqüentes. A cadeia de eventos formada por vantagens competitivas, lucros e crescimento se realimentará continuamente, ainda que com intensidade provavelmente decrescente imposta pelas condições de demanda e pelas reações de suas rivais (por impor restrições, em última instância, sobre suas estratégias de curto prazo de lucratividade e crescimento).
- <sup>125</sup> E não só porque as firmas que inovavam nem sempre obtinham sucesso em suas estratégias, mas porque, ainda que fossem bem-sucedidas, nada garantiria um resultado melhor em termos de eficiência produtiva.
- <sup>126</sup> Há outras possibilidades de endogeneizar, de maneira bastante simples, essa média e, portanto, o crescimento da produtividade das firmas. No próximo capítulo, serão feitas algumas sugestões.
- <sup>127</sup> Nesse sentido, cf. Sahal (1981), Dosi (1984, p. 94) e Possas (1989a). Esse último, por exemplo, observa que “não só os resultados, como se viu, são imprevisíveis, podendo alternar sucessos e

fracassos com a mesma estrutura da atividade, como a própria trajetória tecnológica, tão importante ao condicionar a busca de inovações, tende a apresentar retornos decrescentes a partir de certo ponto, descrevendo um movimento de esgotamento progressivo freqüentemente paralelo ao do 'ciclo do produto', ou produtos, a ela associados. Em suma, descontinuidade e mudança, mais do que evolução firme, são os traços mais nítidos do processo de busca de inovações."

- <sup>128</sup> É nessa fase que fica aberto o espaço para a mudança de paradigmas ou mesmo para um progresso *normal* da ciência que venha a criar novas oportunidades tecnológicas e *deslocar* as trajetórias tecnológicas que, em média, as firmas podem explorar. Todavia, apenas em um modelo multisetorial, e ainda sob hipóteses causais simplificadoras, é que a contrapartida analítica desse processo poderia ser melhor desenvolvida.
- <sup>129</sup> Quais sejam: (1) produtividade das firmas; (2) preços; (3) participação de mercado de cada firma: inovadoras e imitadoras; e (4) grau de concentração.
- <sup>130</sup> Por exemplo: efeito *learning by doing*, estratégias de preço ou taxa de juros. É adequado e desejável que as simulações sejam feitas sob diferentes condições iniciais, a fim de explorar todo o espaço paramétrico relevante e a influência de cada elemento nas trajetórias obtidas, ora envolvendo caracterizações do ambiente de mercado, ora envolvendo caracterizações da conduta estratégica das firmas. Todavia, apenas mudanças nos parâmetros mais diretamente ligados ao processo de busca tecnológica (percentual da receita de vendas gasto em P&D, grau de apropriabilidade do esforço de P&D etc.) serão analisadas. Não obstante, reconhecemos que mudanças nas estratégias de preço ou nas condições de endividamento das firmas (dadas, basicamente, pela taxa de juros) podem influenciar o ritmo de crescimento das firmas de um modo que não independe do regime tecnológico ou do padrão de cumulatividade adotado.
- <sup>131</sup> O que pode ter, a nosso ver, três interpretações: ou (1) foi resultante de uma má especificação do modelo (formas funcionais seriam incompatíveis ou o *timing* das várias decisões no modelo está incorreto); ou (2), se nem representa *fato estilizado* e sequer era previsto pela teoria, indica incompletude na teorização do fenômeno; ou ainda (3) pode tratar-se de um *novo* resultado produzido a partir dos próprios exercícios de simulação e que, a depender de evidências empíricas, pode vir a ser incorporado pela teoria ou, caso contrário, sancionar o tópico (1). Claro que a aceitação ou rejeição desses resultados, não havendo dúvidas de não se tratar da primeira possibilidade, é um processo lento e complexo que envolve, inclusive, elementos de natureza sociológica, além do escopo deste trabalho.
- <sup>132</sup> As simulações facultam a formulação de modelos econômicos em que as ligações entre o nível micro e o nível macro (firmas, indústrias e economia como um todo) possam ser investigadas com relativamente mais clareza. Nesse sentido, cf. Possas (2002). Exemplos de modelos desse tipo podem ser vistos em Valente (1999).
- <sup>133</sup> Se se diz que a variável  $y$  guarda, por uma função  $h$ , uma relação de monotonicidade do tipo crescente com a variável  $x$ , tal que  $x_1 < x_2 \rightarrow y_1 = h(x_1) < h(x_2) = y_2$ , certamente isso estará, em alguma medida, refletido nas trajetórias obtidas por simulação para  $x$  e  $y$ . É verdade que as simulações apenas revelarão o que foi postulado, mas muito do que é revelado pode não ser alcançável a partir exclusivamente da observação de relações de primeira e segunda ordens entre variáveis, e isso poderá ser tanto mais verdade quanto maior é o número de variáveis que influenciam uma outra ( $y$ , digamos) e que podem, inclusive, ser interdependentes entre si, dificultando estabelecer no final de um processo a fonte principal de variação em  $y$ . Como quer que seja, como há outras variáveis mediando a relação entre  $x$  e  $y$ , o tipo de interação que existe de uma com a outra pode assumir, ao longo do tempo, forma diferente daquela postulada diretamente entre elas (se for o caso). São esses os aspectos que as simulações permitem observar.
- <sup>134</sup> Aquele intervalo que incorpora os valores logicamente possíveis e ou empiricamente razoáveis. Essa é uma questão complexa porque nem sempre é possível recorrer a evidências estatísticas obtidas a partir de censos ou de dados amostrais para, ainda que de forma aproximativa, *calibrar*

ou mesmo definir os valores iniciais possíveis de certos parâmetros (como é o caso, por exemplo, da propensão média a consumir por classes econômicas, percentual da receita de empresas privadas em gasto com P&D, percentual de trabalhadores com escolaridade superior etc., que podem, com razoável facilidade, ser obtidos em publicações específicas). Assim, é possível haver parâmetros (e.g., oportunidade tecnológica, grau de *spillovers* de P&D etc.) em que inexistem ou há pouca informação relacionada.

- <sup>135</sup> Mas isso deve ser visto como apenas uma advertência e não como uma *estratégia de imunização* da teoria, já que existe sempre a possibilidade de um modelo matemático não ser capaz de oferecer representação quantificável de um modo não (excessivamente) simplista para os elementos de uma teoria. Entretanto, partindo da idéia de que os modelos contêm uma representação do que, em essência, postula a teoria *T* (digamos), em que se baseiam, se os resultados indicados pelo modelo são sistematicamente incompatíveis com fatos observados, é razoável admitir que a teoria *T* carece de revisão (mas na melhor das hipóteses, já que ela pode ser sumariamente abandonada), o que quase certamente se estenderá aos modelos que a representarão.
- <sup>136</sup> Uma outra objeção – sabendo que aquela é um *dilema* comum na atividade científica – é que sempre é possível forjar explicações (*ad hoc*) que compatibilizem os resultados das simulações e os fenômenos observados, sem que com isso se tenha feito uma avaliação do modelo.
- <sup>137</sup> É claro que, nesse caso, aquele dilema se dilui em parte, na medida em que as séries de dados que serão utilizados na análise comparativa possam ser coletadas ou construídas por meio de alguma medida inequívoca, sem ambigüidades e compartilhadas “intersubjetivamente”. Um exemplo possível, embora imperfeito, é o de uma série histórica de medida de concentração de uma indústria, que pode ser utilizada para avaliar os resultados análogos do modelo obtidos por meio das simulações, sem maior contestação de *correntes* teóricas concorrentes. Mais uma vez, a aceitação dos resultados desses testes (se confirmatórios), ainda que possa ser obstada por questões metodológicas, em última instância remete também a questões de natureza sociológica que não serão, por motivos óbvios, analisadas aqui.
- <sup>138</sup> Em Possas et al. (2001, p. 244), menciona-se que o setor representado no modelo seria uma combinação de *science-based* e *scale-intensive*, conforme a taxonomia de Pavitt (1984).
- <sup>139</sup> Parte considerável dessa cumulatividade deriva da rigidez das estratégias tecnológicas das firmas. No Capítulo 2 apontamos esse aspecto e a solução dada por Winter (1984), inclusive fazendo algumas sugestões adicionais apenas no sentido de aumentar a flexibilidade da regra. Seria interessante adotar uma regra que pudesse, inclusive, permitir um *descompromisso* temporário da firma com esse tipo de investimento, se ela detiver uma posição aparentemente consolidada na indústria coexistindo com ausência de firmas rivais ameaçando sua posição. Em todo caso, alguns autores justificam essa rigidez da regra de gasto em P&D como uma aproximação razoável da inércia existente nas rotinas organizacionais [cf. Dosi, Marengo e Fagiolo (1996, p. 64)].
- <sup>140</sup> Vale lembrar que, como  $\mu_t^\pi = \pi_0(1 + v.t)$  e  $\lim_{n \rightarrow N} \left\{ \Pr \left( \mu_t^\pi - n\sigma < \pi_{i,t}^N < \mu_t^\pi + n\sigma \right) \right\} = 1$  para um *N* positivo não muito grande (sabe-se que, para  $n = 2$ ,  $\Pr(.) \approx 0,95$ ), para um valor de  $\sigma$  pequeno, as firmas inovadoras bem-sucedidas no primeiro estágio do processo de *busca*, no período *t*, praticamente obterão a produtividade dada por  $\mu_t^\pi$  – que cresce a cada período a uma taxa *v* (assumida como 0,01).
- <sup>141</sup> Simulações com estratégias inversas (inovadoras gastando 3% e imitadoras, 6% de sua receita em P&D), embora melhorem o desempenho das firmas imitadoras, não alteram qualitativamente os resultados em termos de *market share*, de maneira que seu desempenho superior está também ligado à sua estratégia de preço e às condições de financiamento (taxa de juros, aqui mantidas constantes). Para mais detalhes a respeito do efeito da taxa de juros sobre o desempenho das firmas, cf. Possas et al. (2001, p. 367).

- <sup>142</sup> Esse índice indica o número de firmas com o mesmo tamanho e que produziram um índice de Hirschman-Herfindahl de valor igual [cf. Possas *et al.* (2001, p. 364)]. Quanto menor esse valor, maior é a concentração da indústria.
- <sup>143</sup> Mais adiante, observaremos como um tratamento independente da base de conhecimento, que cresce de modo exógeno (como originalmente é feito no modelo NW, mas mantendo o formato logístico) e ainda com uma fronteira fixa, produz trajetórias mais *suaves*.
- <sup>144</sup> É como se não houvesse progresso científico algum ou, ainda que houvesse, como se ele fosse incapaz de criar novas oportunidades tecnológicas a serem exploradas.

## Referências bibliográficas

---

- ADAMS, J. Endogenous R&D spillovers and industrial research productivity. *NBER Working Papers*, n. 7.484, 2000.
- ALCHIAN, A. A. Uncertainty, evolution and economic theory. *Journal of Political Economy*, n. LVIII, p. 211-21, June, 1950.
- ANDERSEN, E. S. *Evolutionary economics: post-Schumpeterian contributions to evolutionary economics*. London, Pinter, 1996.
- \_\_\_\_\_. Neo- and post-Schumpeterian contributions to evolutionary economics. In: REIJNDERS, J. (ed.). *Economics and evolution*. Elgar, Cheltenham, Belgium-Dutch Association for Post-Keynesian Studies, p. 109-35, 1997.
- ANTONELLI, C. Economics of knowledge and the governance of commons knowledge. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 1, n. 1, p. 29-48, jan.-jun. de 2002.
- ARTHUR, B. Self-reinforcing mechanisms in economics. In: ANDERSON, P.; ARROW, J. K.; e PINES, D. (eds.). *The economy as an evolving complex system*. Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, v. 5, Redwood City California, Addison Wesley, 1988.
- \_\_\_\_\_. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The Economic Journal*, v. 99, p. 116-31, 1989.
- BADDELEY, A. *Human memory: theory and practice*. Needham Heights, MA, Allyn & Bacon, 1990.
- BALCONI, M. Codification of technological knowledge, firm boundaries and cognitive “barriers” to entry: *DYNACOM Working Paper*, 2000.
- BELL, M. e PAVITT, K. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. *Oxford University*, v. 2, p. 157-210, 1993.
- BLAUG, M. *A metodologia da economia*. 2ª ed. São Paulo, Edusp, 1999.

- BRUSONI, S.; MARSILI, O.; e SALTER, A. The role of codified knowledge in innovation: empirical evidence from Dutch manufacturing. *SPRU/Univ. of Sussex Electronic Working Papers Series*, n. 80, 2002.
- CACCOMO, J. Technological evolution and economic instability: theoretical simulations. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 6, n. 2, p. 141-55, 1996.
- CALDWELL, B. *Beyond positivism: economic methodology in twentieth century*. London, Routledge, 1994.
- CANIËLS, M. C. J. e VERSPAGEN, B. Barriers to knowledge spillovers and regional convergence in a evolutionary model. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 11, n. 3, p. 307-29, 2001.
- CESARATTO, S. Savings and economic growth in neoclassical theory. *Cambridge Journal of Economics*, v. 3, n. 6, p. 771-93, 1999.
- CHIAROMONTE, F. e DOSI, G. The microfoundations of competitiveness and their macroeconomic implications. In: FORAY, D. e FREEMAN, C. (eds.). *Technology and the wealth of nations: the dynamics of constructed advantages*. London, Pinter Publishers, 1993.
- COHEN, W. M. e LEVINTHAL, D. A. Innovation and learning: the two faces of R&D. *The Economic Journal*, v. 99, p. 569-96, Sept., 1989.
- COOMBS, R. Technological opportunities and industrial organization. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; SILVERBERG, G.; NELSON, R.; e SOETE, L. (eds.). *Technical change and economic theory*. London, Pinter Publishers, 1988.
- DERMAN, C.; GLEISER, L.; e OLKIN, I. *A guide to probability theory and application*. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1973.
- DEVETAG, M. G. From utilities to mental models: a critical survey on decision rules and cognition in consumer choice. *Industrial and Corporate Change*, v. 8, n. 2, 1999.
- DOSI, G. *Technical change and industrial transformation. The theory and an application to the semiconductor industry*. London, Macmillan, 1984.
- \_\_\_\_\_. Sources, procedures and microeconomics effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, n. 26, Sept., 1988.
- \_\_\_\_\_. Some thoughts on the promises, challenges and dangers of an "evolutionary perspective" in economics. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 1, p. 5-17, 1991a.
- \_\_\_\_\_. The research on innovation diffusion: an assessment. In: DOSI, G. *Innovation, organization and economic dynamics*. London, Edward Elgar, p. 115-43, 1991b.
- \_\_\_\_\_. The contribution of economic theory to the understanding of a knowledge-based economy. In: OECD, *Employment and growth in the knowledge-based economy*. Paris, 1996.



- \_\_\_\_\_. Opportunities, incentives and collective patterns of technological change. *The Economic Journal*, n. 107, p. 1.530-47, Sept., 1997.
- DOSI, G. e CORIAT, B. Problem-solving and coordination-governance: advances in a competence-based perspective on the theory of firm. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 1, n. 1, p. 49-84, jan.-jun. de 2002.
- DOSI, G. e EGIDI, M. Substantive and procedural uncertainty. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 1, p. 145-68, 1991.
- DOSI, G.; MARENGO, L.; e FAGIOLO G. Learning in evolutionary environments. *Technical Report 5*, CEEL (Computable and Experimental Economics Laboratory), 1996.
- DOSI, G.; MARSILI, O.; ORSENIGO, L.; e SALVATORE, R. Learning, market selection and the evolution of industrial structures. *Small Business Economics*, v. 7, n. 6, p. 411-36, 1995.
- DOSI, G., NELSON, R. An introduction to evolutionary theories in economics. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 4, p. 153-72, 1994.
- ELIASSON, G. e DAY, R. D. (eds.). *The dynamics of market economies*. North-Holland, Amsterdam, 1986.
- FOSTER, J. Competitive selection, self-organisation and J. A. Schumpeter. *Journal of Evolutionary Economic*, v. 10, n. 3, p. 311-28, Jan., 2000.
- FREEMAN, C. The economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics*, v. 18, p. 463-514, 1994.
- GORT, M. e WALL, R. A. The evolution of technologies and investment in innovation. *The Economic Journal*, v. 96, p. 741-57, Sept., 1986.
- GRILICHES, Z. The search for R&D spillovers. *Scandinavian Journal of Economics*, v. 94, p. 29-48, 1992.
- GRIMALDI, R. e TORRISI, S. Codified-tacit and general-specific knowledge in the division of labour among firms. A case study of the software industry. *Research Policy*, 2001.
- GROSSMAN, G. M. e HELPMAN, E. Endogenous innovation in the theory of growth. *Journal of Economic Perspectives*, v. 8, n. 1, p. 23-44, 1994.
- GRUPP, H. Spillover effects and the science base of innovations reconsidered: an empirical approach. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 6, n. 2, p. 175-97, 1996.
- HALL, R. L. e HITCH, C. J. Price theory and business behaviour. *Oxford Economic Papers*, n. 2, p. 12-45, 1939.
- HORS, I. e LORDON, F. About some formalisms of interaction phase transition models in economics. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 7, n. 4, p. 355-73, 1997.
- JAFFE, A. B. Technological opportunity and spillovers of R&D. *American Economic Review*, v. 76, p. 984-1.001, Dec., 1986.

- JAMES, B. *Probabilidade: um curso em nível intermediário*. Rio de Janeiro, IMPA, 1996.
- JONES, H. *Introduction to modern theories of economic growth*. London, T. Nelson & Sons; trad. em língua portuguesa: *Modernas teorias do crescimento econômico – Uma introdução*. São Paulo, Atlas, 1975.
- KALECKI, M. *Teoria da dinâmica econômica*. São Paulo, Nova Cultural, Coleção Os Economistas, 1985.
- KAY, N. The R&D function: corporate strategy and structure. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; SILVERBERG, G.; NELSON, R.; e SOETE, L. (eds.). *Technical change and economic theory*. London, Pinter Publishers, 1988.
- KEYNES, J. M. *A teoria geral do emprego, do juro e da moeda*. São Paulo, Abril Cultural, Coleção Os Economistas, 1983.
- KWASNICKI, W. Innovation regimes, entry and market structure. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 6, n. 4, p. 375-409, 1996.
- \_\_\_\_\_. Comparative analysis of selected neo-Schumpeterian models of industrial dynamics. In: *Nelson and Winter Conference*, Aalborg, Dinamarca, 2001.
- LISBOA, M. A miséria da crítica heterodoxa. Segunda parte: método e equilíbrio na tradição neoclássica. *Revista de Economia Contemporânea*, n. 3, p. 113-51, 1998.
- LLERENA, P. e OLTRA, V. Diversity of innovative strategy as a source of technological performance. *DRUID Working Paper*, n. 00-1, Jan., 2000.
- LOGAN, G. D. Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, v. 95, n. 4, p. 492-527, 1988.
- MALERBA, F.; NELSON, F.; ORSENIGO, L.; e WINTER, S. History friendly models of industry evolution: the case of the computer industry. *Industrial and Corporate Change*, v. 8, 1999.
- MALERBA, F. e ORSENIGO, L. Technological regimes and firm behavior. *Industrial and Corporate Change*, v. 2, n. 1, 1993.
- \_\_\_\_\_. Technological regimes and sectoral patterns of innovative activities. *Industrial and Corporate Change*, v. 6, n. 1, p. 83-117, 1997.
- \_\_\_\_\_. Knowledge, innovative activities and industrial evolution. *Industrial and Corporate Change*, v. 9, n. 2, p. 289-314, 2000.
- MARENGO, L. e WILLINGER, M. Alternative methodologies for modeling evolutionary dynamics: introduction. *Journal of Evolutionary Economics*, n. 7, p. 331-8, 1997.
- MAURSETH, P. B. e VERSPAGEN, B. Knowledge spillovers in Europe and its consequences for systems of innovation. *Eindhoven Centre for Innovation Studies (ECIS) Working Papers*, n. 98.1, Oct., 1998.
- McKELVEY, M. Evolutionary innovations: learning, entrepreneurship and the dynamics of the firm. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 8, n. 2, p. 157-75, 1998.

- NELSON, R. *Understanding technical change as an evolutionary process*. North-Holland, Amsterdam, 1987.
- \_\_\_\_\_. Recent evolutionary theorizing about economic change. *Journal of Economic Literature*, v. 33, p. 48-90, 1995.
- NELSON, R. e ROSENBERG, N. Technical innovation and national systems. In: NELSON, R. (ed.) *National innovation systems: a comparative analysis*. New York, Oxford University Press, 1995.
- NELSON, R. e WINTER, S. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Belknap Press, 1982.
- NOOTEBOOM, B. Innovation, learning and industrial organization. *Cambridge Journal of Economics*, v. 23, n. 2, p. 127-50, 1999.
- OLTRA, V. e YILDIZOGLU, M. Learning and expectations in R&D decisions. *Working Papers Beta-theme, UMR n. 7.522 – CNRS; Strasbourg, PEGE, Universite Louis Pasteur*, 1998.
- PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, v. 13, 1984.
- \_\_\_\_\_. What do firms learn from basic research? In: FORAY, D. e FREEMAN, C. (eds.). *Technology and the wealth of nations*. London, Printer, 1993.
- PONDÉ, J. L. de Souza (2000). Processos de seleção, custos de transação e a evolução das instituições empresariais. Tese de doutoramento. São Paulo, Depe-Unicamp, 2000.
- POSSAS, M. L. *Dinâmica e ciclo econômico em oligopólio*. Tese de doutoramento. São Paulo, Depe-Unicamp, 1983.
- \_\_\_\_\_. Para uma releitura teórica da teoria geral. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 16, n. 2, p. 295-308, 1986.
- \_\_\_\_\_. Em direção a um paradigma microdinâmico: a abordagem neoschumpeteriana. In: AMADEO, E. (org.). *Ensaio sobre economia política moderna: teoria e história do pensamento econômico*. São Paulo, Ed. Marco Zero, 1989a.
- \_\_\_\_\_. Competitividade: fatores sistêmicos e política industrial. In: CASTRO, A. B. *Estratégias empresariais na indústria brasileira*. 1989b.
- \_\_\_\_\_. Racionalidade e regularidades: rumo a uma integração micro-macrodinâmica. *Economia e Sociedade*, v. 2, ago. de 1993.
- \_\_\_\_\_. Antecedentes e perspectivas teóricas da economia do desenvolvimento numa abordagem evolucionária. *Revista Nexos Econômicos, CME/UFBa*, v. 1, julho de 1999.
- \_\_\_\_\_. Elementos para uma integração micro-macrodinâmica na teoria do desenvolvimento econômico. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 1, n. 1, p. 123-49, jan.-jun. de 2002.

- POSSAS, M. L. e KOBLITZ, A. A sectoral evolutionary model. In: *DRUID's Nelson and Winter Conference*. Dinamarca 2001. Disponível em <<http://www.druid.dk/conferences/nw/>>.
- POSSAS, M. L.; KOBLITZ, A.; LICHA, A.; OREIRO, J. L.; e DWECK, E. Um modelo evolucionário setorial. *Revista Brasileira de Economia*, v. 55, n. 3, p. 333-77, jul.-set. de 2001.
- PRAEST, M. An empirical model of firm behaviour: a dynamic approach to competence accumulation and strategic behaviour. *DRUID Working Paper*, n. 98-1, 1998.
- ROMER, P. M. Increasing returns and long run growth. *Journal of Political Economy*, v. 95, p. 1.002-37, 1986.
- \_\_\_\_\_. The origins of endogenous growth. *Journal of Economic Perspectives*, v. 8, p. 3-22, Winter 1994.
- SACHS, J. e LARRAIN, F. *Macroeconomia*. São Paulo, Makron Books, 1995.
- SAHAL, D. *Patterns of technological innovation*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1981.
- SAINT-ONGE, H. Tacit knowledge: the key to the strategic alignment of intellectual capital. In: ZACK, M. H. (ed.) *Knowledge and strategy*. Boston, Butterworth-Heinemann, 1999.
- SAVIOTTI, P. e METCALFE, J. (eds.) *Evolutionary theories of economic and technological change: present status and future prospectus*. Chur, Harwood Academic Publ., 1991.
- SCHUMPETER, J. A. *Capitalism, socialism and democracy*. London, Unwin Paperbacks, 1942.
- SILVERBERG, G. Evolutionary modeling in economics: recent history and immediate prospects. 1997, mimeo.
- SILVERBERG, G.; DOSI, G.; e ORSENIGO, L. Innovation, diversity and diffusion: a self-organization model. *The Economic Journal*, v. 98, n. 393, p. 1.032-54, Dec. 1988.
- SILVERBERG, G. e VERSPAGEN, B. Learning, innovation and economic growth: a long-run model of industrial dynamics. *Industrial and Corporate Change*, v. 3, n. 1, p. 199-223, 1994.
- \_\_\_\_\_. Evolutionary theorizing on economic growth. In: DOPFER, K. (ed.). *The evolutionary principles of economics*. Norwell, MA, Cambridge University Press, 1999.
- SIMON, H. A. From substantive to procedural rationality. In: HAHN, F. e HOLLIS, M. (eds.). *Philosophy and economic theory*. London, Oxford University Press, 1979.
- \_\_\_\_\_. *Bounded rationality*. London, MIT Press, 1987.
- SOLOW, R. M. Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, v. 39, p. 312-20, 1957.

- STERNBERG, R. *Cognitive psychology*. New York, Cambridge University Press, 1996.
- TIROLE, J. Research and development and the adoption of new technologies. In: TIROLE, J. *The theory of industrial organization*. Cambridge, MIT Press, 1988.
- TISDELL, C. *Bounded rationality and economic evolution: a contribution to decision-making, economics and management*. London, Edward Elgar, 1997.
- VALENTE, M. Evolutionary economics and computer simulations – A model for the evolution of markets. Tese de Doutorado. Dinamarca, Allborg University, Department of Business Studies, 1999.
- VROMEN, J. Modelling the selection argument: Nelson and Winter's evolutionary theory. In: VROMEN, J. *Economic evolution: an enquiry into the foundations of new institutional economics*. London, Routledge, p. 66-87, 1995.
- WHITLEY, R. Developing innovative competences: the role of institutional frameworks. *Industrial and Corporate Change*, v. 11, n. 3, p. 497-528, 2002.
- WINTER, S. Schumpeterian competition in alternative technological regimes. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 5, p. 287–320, 1984.
- WINTER, S.; DOSI, G.; e KANIOVSKI, G. Y. M. Modeling industrial dynamics with innovative entrants. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 11, p. 255-93, 2000.
- ZACK, M. H. (ed.) *Knowledge and strategy*. Boston, Butterworth-Heinemann, 1999.

## Abstract

---

The purpose of this work is to develop a technological search model intending to surpass some limitations in technological search part of industrial dynamic evolutionary model purposed by Nelson and Winter (1982). The technological search represents a set of strategic procedures used by firms, which wish to innovate or to imitate technologies that can give rise to competitive advantages.

Firstly, it is going to be purposed a technological knowledge and capabilities accumulation process, which is fundamental to improve the technological search process. The technological knowledge stock will be subjected to a type of *depreciation* according to the sort of knowledge dealt with: basically cognitive, in case of tacit knowledge, and technological if the knowledge involved is codified. Secondly, we will introduce the generation of extra and intra-industry R&D spillovers; the latter can be asymmetrically distributed among firms, but the internalization of both is conditioned to firm's absorptive capacity, which depends on firm's own R&D effort. The R&D effort has a dual role; as a matter of fact, it works as an internal source of knowledge and technological capability and, at the same time, improves the firm's innovative/imitative successfulness potential. Thirdly, it will be inserted technological cumulativeness on the search process, a stylized fact in innovation related literature which point out the existence of serial correlation between firm's innovative indicators on R&D intensive industries. Lastly, in order to carry out our model, the growth rhythm of firm's technological frontier will be endogenized, which means attaching the firm technological trajectory to its own knowledge and technological capability level.

This analytical framework will be incorporated in the industrial dynamic evolutionary model purposed by Possas *et al.* (2001). The idea is to introduce elements on it which surpass the limitations which still remain on the models which followed Nelson-Winter's (the first model of this string) and, as a result, become it able to analyze, using simulation exercises, technological cumulativeness and R&D spillovers implications on firms' competitive performance and on industry dynamics as well. Ultimately, in order to evaluate the modified model, some computer simulation exercises will be done.